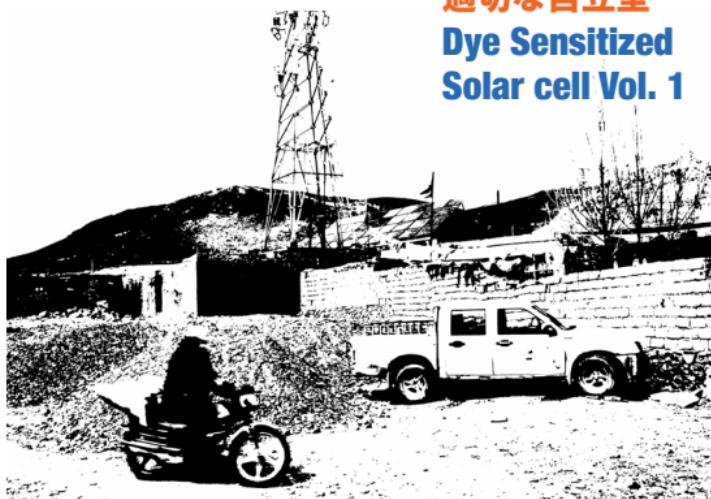


1,540,000nm
154 万
ナノメートル
色素増感太陽電池
**Appropriate
Off-Grid
Solar RAVE
適切な自立型
Dye Sensitized
Solar cell Vol. 1**



4 介绍	4 紹介	4 Introduction	48 天然染色工藝 與光伏技術的交叉	48 天然染色技術與 光伏技術的交差點	48 The Intersection of Natural Dyeing and Photovoltaic Technology
7 一个溫室的故事	7 ある温室の物語	7 A Greenhouse Story	48 經典的天然染料	48 クラシックな天然染料	49 Classic Natural Dyes
14 從被綁架的陽光 到第三代太陽能	14 囚われた太陽光から 第三世代太陽電池へ	14 From Kidnapped Sunlight to 3rd-Generation Solar Energy	50 褪色	50 色あせ	51 The Bleaching
18 DIY DSSC	18 DIY 色素增感電池	18 DIY dye sensitized solar cell	52 共染與共敏作用	51 共染と共感作用	52 Copigmentation and Cossensitization
18 從三明治開始	18 三明治から始める	18 Starting with the Sandwich	54 令我印象深刻的 染料	54 印象的な染料	54 Impressive Dyes!
31 DSSC 模組	31 DSSC モジュール	31 DSSC Modules (DSMs)	63 替代的な DSSC	63 代替的な DSSC	64 Alternative DSSCs
34 電壓電流特性曲線	34 電圧電流特性曲線	34 Voltage-Current Characteristic curve	64 另類 DSSC	64 低コストで 分解可能な DSSC	A Low-Cost and Biodegradable Materials DSSC
38 透明的 DSSC !	38 透明な DSSC !	38 Transparent DSSC!	64 一個低成本和 可降解的 DSSC	66 AI が演奏するジャズ ラムの一節	64 AI が演奏するジャズ ラムの一節
38 為什麼是透明的	38 なぜ透明なのか？	38 Why Transparent?	67 一段由 AI 演奏的 爵士鼓	67 レーザー染色計画 からカラフルで透明な 太陽電池ガラスへ	67 A Section of Jazz Drums Performed with AI
41 光伏農業	43 成本とエネルギー回収期間	41 Agrivoltaics	70 從雷射染計劃到 彩色透明太陽能 玻璃	69 刺青された 太陽エネルギー： エネルギー追蹤とブロ ックチェーン技術	69 From Laser Dye Projects to Colored Transparent Solar Glass
44 成本和能源回收期	44 1 平方センチメートル あたり 0.13 ドル	45 Cost and Energy Payback Time	71 被紋身した太陽能： 能源追蹤與區塊鏈 技術	71 Tattooed Solar Energy: Energy Tracking and Blockchain Technology	71
44 每平方公分 0.13 美元	45 EPBT (エネルギー回収期間)	45 Energy Payback Time (EPBT)			

目前半導體的最佳制程被稱為2奈米製程，這是一個抽象的技術語；早期的90奈米或130奈米製程是指晶體管的最小間極長度（gate length），但隨著技術進步，這些數字已經不再直接對應於實際材料物理尺寸，而是反映一系列技術特性。

In today's semiconductor industry, the most advanced manufacturing process is referred to as the "2-nanometer process"—an abstract technical term. Earlier hodes such as 90 nm or 130 nm once referred to the physical gate length of a transistor, but with technological advancements, these numbers no longer correspond directly to actual material dimensions. Instead, they now reflect a set of performance-related characteristics.

本計劃的名字靈感來自於2025年於Fabcafe Tokyo的展覽。因為展覽中的藝術裝置是利用網版印刷在導電玻璃上印刷多個染料敏化太陽能電池（DSSC）製作的，而每個子電池彼此間的最佳印刷距離約為1.54mm，也就是1,540,000nm，因此1,540,000nm不只是一個幽默的計劃名稱，也反應了一種DIY精神。

該展覽以「離網」為發想概念，嘗試製作DSSC的過程以及手工上的細節紀錄，也

このプロジェクト名「1,540,000nm」は、2025年「Fabcafe Tokyo」で開催される「FabCafe Tokyo」の展覧会に着想を得たものです。The installation consists of multiple dye-sensitized solar cells (DSSCs) screen-printed onto conductive glass. The optimal spacing between each sub-cell printing is approximately 1.54 mm, or 1,540,000 nm. As such, "1,540,000 nm" is not only a humorous title—it also embodies a spirit of DIY experimentation.

Rooted in the concept of being "off-grid," this exhibition documents my personal journey of attempting to fabricate DSSCs, including the detailed

本展は「オフグリッド」（off-grid）というコンセプトを軸に、私自身がDSSCを

介紹了圍繞在DSSC的手作りした過程と、その細やかな手工芸の記録を紹介します。また、DSSCをめぐる生態景觀和藝術工具的發想，這些發想涉及美學、能源分配議題與DIY文化之間的連結。

DSSC是一個2012年左右因為封裝技術和壽命問題便淡出商業市場的「舊」技術，那為什麼我還那麼喜歡這項技術呢？「古い」技術ですが、私は今までこの技術に強く惹かれていました。私の作品は光感應材和光線展開，並且是透過DIY途徑。像是我的一個舊計劃雷射染計劃（Laser Dye Project）① 使用自製的雷射投影機在織品上顯影藍曬（Cyanotype）和凡戴克棕（Vandyke Brown）作品，也是一個印在織維上サイアナトイプチやBrown images onto fabric—an attempt to reinvent traditional craft through modern optics. DSSC新發明傳統工藝。DSSC對我來說同樣迷人，因為DSSC也是一個與染色工藝高度相關的另類工藝，能藉由色彩和印技術來製成。Rooted in the concept of being "off-grid," this exhibition documents my personal journey of attempting to fabricate DSSCs, including the detailed

manual processes involved. It also explores the broader ecological landscape surrounding DSSCs and their potential as artistic tools—interweaving aesthetics, energy distribution, and DIY culture. DSSC is a so-called "old" technology that faded from the commercial market around 2012 due to challenges with encapsulation and longevity. My work often revolves around photosensitive materials and light, and is grounded in DIY methods. For instance, in my earlier Laser Dye Project ①, I used a self-built laser projector to expose cyanotype and Van Dyke Brown images onto fabric—an attempt to reinvent traditional craft through modern optics. DSSC holds a similar appeal for me: it is an alternative photovoltaic technology deeply tied to the art of dyeing and printing, and it offers an engaging gateway into the fundamentals of semiconductor science. My entry point is art and design—my engagement with energy issues came later. The concepts of "DIY" and "off-grid" presented in this book are still far from truly democratic" in terms of supply and demand.

本書強調的「DIY」和「オフグリッド」という想は、サプライチェーンhigh-efficiency reagents still う現実の前では、眞の「民主」性」はいえない部分がありTheoretically, it is possible to

DIY 和 Maker 文化也 は太刀打ちできません。 of learning to make DSSCs,
許已被證明不足與商業競 DIY やマイカー文化は、I've realized that knowledge
爭。但在知識層面上，在商業的競争においては限界 and conceptual access—not
學習自製 DSSC 的過程。 あることがすでに明らかかまachinery—are the real barriers
中我發現知識和觀念才是 画では、DSSC を自作する outsourcing, rather than competition,
技術堡壘豎立的關鍵，持 て程で学んだことから、知識と may be a more meaningful way
續不斷的開源也許才是更 概念こそが技術的な障壁を築 to engage with the dominant
適合與資本文化競爭的方 いている本質であると気づく culture of technology and capital.
式。 されました。継続的なオープ The concept of "Appropriate
ンソーシャルテクノロジイ ンソーシャルテクノロジイ offers a useful

然而，無論去中心化的多くが、技術を自然資源や widespread embrace of
文化、環境と結びつけ、資源 decentralization in contemporary
代設計中，AI、區塊鏈等 design, cutting-edge technologies
技術終究仍受到精英階級ノリューションを提示して like AI and blockchain remain
和資本的統治，技術文化 ます。 under the control of elites and
（techno culture）加劇階級的形成似乎更是一種現象，這挑戰了我們對 現代のデザインに広く浸透し inherently structured to reinforce
有現象，這挑戰了我們對 チェーンなどの先端技術は依然としてエリート層や資本に class divisions, posing a serious
技術民主化的期待。 チャレンジ to our hopes for the democratization of technology.

我想這本書只是忠實地紀錄並分享我所看到的景觀和提出一些藝術表現上的有趣想法。希望能對我所接觸過的科技藝術有些貢獻。よって支配されており、技術文化（techno culture）が階級Record of the landscapes I have observed and a means to share a few artistic thoughts. I hope it can make a small contribution to the「藝術の民主化」という期待に対応Tech-art, DIY, and open-source DIY、開源社群有些貢獻する大きな問い合わせを投げかけまcommunities I've been a part of.

本書は、私自身が見てき In 2018, I participated in a
2018年、我參與了 ^た風景を忠実に記録し、い greenhouse construction project
位於青海囊謙地區的一項 ^かの芸術的な発想を共有 ^すin Nangqen, Qinghai ②, assisting
溫室建設計劃 ②, 協助建 ^{ため}ためのものにすぎません。in the creation of a greenhouse
造一個溫室原型。這段經 ^がが関わってきたテクノロジ prototype. This experience inspired
驗啟發了我後來探索以植 ^{アート、DIY、オープソ}me to later explore DSSCs based
物材料為基礎的DSSC, ^{スのコミュニティに、ほんの}on plant materials, integrating
結合溫室結構，共同創造 ^{少しでも何か貢獻できれば}greenhouse structures to develop
一種兼具能源生產與空間 ^{思っています。}a symbiotic design that combines
應用的共生設計。該計劃 ^{エネルギー生産と空間}energy production with spatial
旨在為當地的一所慈善學校 ^のapplications. The project aimed
提供一年四季的蔬菜供 ^くto provide year-round vegetable
應，減少依賴昂貴的來自 ^くのプロジェクトに参加し ②、溫室 supplies for a local charitable
來自 ^くのプロジェクトを建設する ^すschool, reducing reliance on
元 ^元をしました。この経験は ^{元々}costly imported vegetables

中國的進口蔬菜，同時探植物材料為基礎とする DSSC from other parts of China. At the 索一個結合當地資源、藝術與科學的跨領域生產系統。我們的設計試圖整合多種技術，包括地熱電池（earth battery）、半地下設計，以打造適應高原農業。這是一個令我難忘的經驗，因為高原就像是科幻片場景一樣的壯觀，我曾駕駛著沒有雪鏈的汽車在白茫茫的雪路上從機場開往社區，地熱電池（earth battery）や半地下設計など複數の技術を組み合わせ、高地の厳しい気候に適応した温室を作り上げた。我たちは設計の可能性を探る試みでもあるspectacular as a science fiction movie set. I drove a car without snow chains along snowy roads from the airport to the community. While most people were retreating to Ningxia to escape the winter, I went door to door persuading aluminum window and door manufacturers to stay and continue working. I searched in the snow for idle excavator operators willing to dig in the community and eventually found two local workers sleeping inside an excavator, who agreed to help us. I also went to a local sheet metal factory to convince workers to produce my 3D-designed components, though they typically only made iron frames for storing beef in winter. Finally, the entire greenhouse framework was tied to a small truck and transported to the community. In the end, building the greenhouse together with the entire community became a permanent and cherished memory.

但溫室建設初步完成後，由於語言不通和遠距離溝通困難的關係，許多交接上的困難也無法協力到。我們的設計試圖整合多種技術，包括地熱電池（earth battery）、半地下設計，以打造適應高原農業。這是一個令我難忘的經驗，因為高原就像是科幻片場景一樣的壯觀，我曾駕駛著沒有雪鏈的汽車在白茫茫的雪路上從機場開往社區，地熱電池（earth battery）や半地下設計など複數の技術を組み合わせ、高地の厳しい気候に適応した温室を作り上げた。我たちは設計の可能性を探る試みでもあるspectacular as a science fiction movie set. I drove a car without snow chains along snowy roads from the airport to the community. While most people were retreating to Ningxia to escape the winter, I went door to door persuading aluminum window and door manufacturers to stay and continue working. I searched in the snow for idle excavator operators willing to dig in the community and eventually found two local workers sleeping inside an excavator, who agreed to help us. I also went to a local sheet metal factory to convince workers to produce my 3D-designed components, though they typically only made iron frames for storing beef in winter. Finally, the entire greenhouse framework was tied to a small truck and transported to the community. In the end, building the greenhouse together with the entire community became a permanent and cherished memory.

但溫室建設初步完成後，由於語言不通和遠距離溝通困難的關係，許多交接上的困難也無法協力到。我們的設計試圖整合多種技術，包括地熱電池（earth battery）、半地下設計，以打造適應高原農業。這是一個令我難忘的經驗，因為高原就像是科幻片場景一樣的壯觀，我曾駕駛著沒有雪鏈的汽車在白茫茫的雪路上從機場開往社區，地熱電池（earth battery）や半地下設計など複數の技術を組み合わせ、高地の厳しい気候に適応した温室を作り上げた。我たちは設計の可能性を探る試みでもあるspectacular as a science fiction movie set. I drove a car without snow chains along snowy roads from the airport to the community. While most people were retreating to Ningxia to escape the winter, I went door to door persuading aluminum window and door manufacturers to stay and continue working. I searched in the snow for idle excavator operators willing to dig in the community and eventually found two local workers sleeping inside an excavator, who agreed to help us. I also went to a local sheet metal factory to convince workers to produce my 3D-designed components, though they typically only made iron frames for storing beef in winter. Finally, the entire greenhouse framework was tied to a small truck and transported to the community. In the end, building the greenhouse together with the entire community became a permanent and cherished memory.

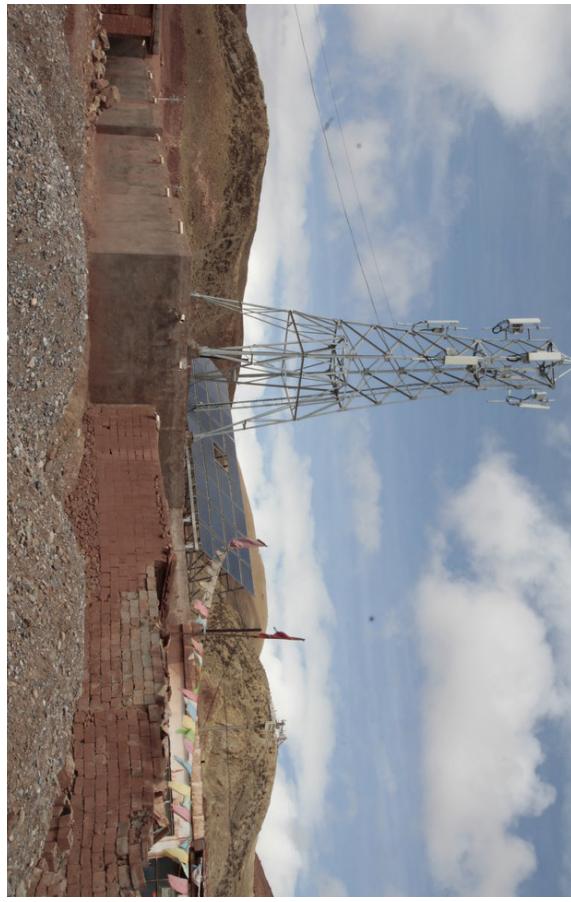
掌握溫室的現況。在設計上我推測地熱管道長度不足，無法有效加熱室內空氣，僅一台風扇導致空氣循環不良，造成室內二氣化碳積累，甚至引發當地居民不適。此外，由於設計時未考慮溫室內的動線，植物層架等結構也沒有完善設計，導致當地居民後來直接在溫室內的地上種植植物，降低了溫室的空間利用效率，最後，地熱パイプの長さが導致荒廢。隨著學校資源需求重點轉向其他資源跟據校長的口述，他們需要圖書館建設和醫藥儲存室，這個溫室計劃在我不在的時候，當地的溫室農戶已經開始在溫室裡種植作物。這是一個政治層面的問題。一些曾在當地長居七年的台灣人類學者聊天後，我了解到當地所謂的「大棚文化」可能是中國政府希望在當地長居七年的台灣人種植植物棚，這是一種漢化手段。藏族傳統上並不以蔬菜或沙拉為主要飲食來源，他們有自己的纖維素攝取方式，而種植大棚和蔬菜需求的培養，其實可能是為了加強當地與漢人社會的聯繫。儘管我尚未進行深入的田野調查來驗證這一觀點，但這足以讓我意識到，我

在溫室的現況。在設計上我推測地熱管道長度不足，無法有效加熱室內空氣，僅一台風扇導致空氣循環不良，造成室內二氣化碳積累，甚至引發當地居民不適。此外，由於設計時未考慮溫室內的動線，植物層架等結構也沒有完善設計，導致當地居民後來直接在溫室內的地上種植植物，這是一個政治層面的問題。一些曾在當地長居七年的台灣人類學者聊天後，我了解到當地所謂的「大

溫室的現況。在設計上我推測地熱管道長度不足，無法有效加熱室內空氣，僅一台風扇導致空氣循環不良，造成室內二氣化碳積累，甚至引發當地居民不適。此外，由於設計時未考慮溫室內的動線，植物層架等結構也沒有完善設計，導致當地居民後來直接在溫室內的地上種植植物，這是一個政治層面的問題。一些曾在當地長居七年的台灣人類學者聊天後，我了解到當地所謂的「大



與 倉 薩 葛 家 人 和 Wiriya倉薩貢葛の家族と Wiriya RattanasuwanCollaborated with Tsangsar Kunga's family Rattanasuwan 合力建立在玉樹縣的**協力して、玉樹県に最初の温室** and Wiriya Rattanasuwan to establish the first greenhouse prototype in Yushu County.
トタイプを設立しました。



青海省玉樹縣 2018 年 3 月。 青海省玉樹縣 3 月 2018 年 Yushu County, Qinghai Province, March, 2018



青海省ザグセン小学校のそばにあ
る太陽光パネル、洗濯機、そし
て「Schoolchildren's laundry awaiting washing
洗衣機以及待洗的學童衣物。照片
洗濯前の兒童的衣類。写真是 2018
Text to Zhagsen Primary School in Qinghai.
年 3 月に撮影されたもの。
Photograph taken in March 2018.



温室の建設過程。写真の 6 枚の有
建造温室過程。圖中的六片有機太
陽能板は、當時台灣の孟心飛
能板當時由台灣的孟心飛教授贊助
教授によって支援されました。
The process of building the greenhouse.
The six organic solar panels in the
picture were sponsored at the time by
Professor Meng Xinfel from Taiwan.

們的設計在物理與技術層面之外，對環境與文化層面的考量是多麼不足。

Chinese government's Sinicization efforts. Traditionally, the Tibetan diet does not primarily rely on vegetables or salads, as they have

說到另一個我很喜歡這個故事，一位來自加拿大新斯科舍省的明家 George Cove，於1905年開發出了第一個實用的太陽能發電裝置，並於1909年在紐約成立了 Sun Electric Generator Corporation，試圖推廣他的太陽能技術並實現商業化。他也是一個爭議性人物，據說當年10月他在紐約遭遇了一起綁架事件。據說，綁匪要求他棄太陽能專利並關閉公司，但 Cove 拒絕妥協，最終被釋放在布朗克斯動物園附近，此後他的公司運營迅速崩潰。許多觀察者認為，由於太陽能固有的民主特質和離網技術，這可能是石油集團想要止太陽能技術的進一步發展，或是對愛迪生的電網商業模式造成了威脅，這

Chavez's Chinese government's Sinicization efforts. Traditionally, the Tibetan diet does not primarily rely on vegetables or salads, as they have their own methods of fiber intake. The cultivation of greenhouses and the fostering of vegetable demand may have been intended to strengthen ties between the local population and Han Chinese society. While I have yet to conduct in-depth fieldwork to verify this perspective, it has made me realize how much our design lacked consideration for environmental and cultural dimensions beyond the physical and technical aspects. One of my favorite stories involves George Cove, an inventor from Nova Scotia, Canada. In 1905, he developed the first practical solar power generation device. By 1909, he had established the Sun Electric Generator Corporation in New York, aiming to promote and commercialize his solar technology. However, Cove was a controversial figure. It is said that in October of that year, he was kidnapped in New York. Allegedly, the kidnappers demanded that he abandon his solar patents and shut

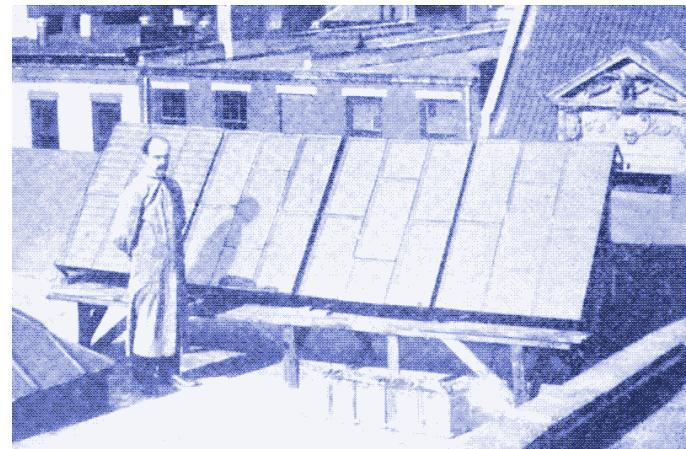
從被綁架的陽光
到第三代太陽能
太陽電池へ

囚われた太陽光
から第三世代
到第三代太陽能
太陽電池へ

導致了接下來四十年的太陽能空窗。還有人說真正的第一個太陽能版的發明者另有其人，但這些爭議不在此書想要涉及的範圍內。

學家 Philip Pesavento 推^{アッパ} (bandgap) の概念Between these bands exist 測, Cove 使用鋅銻合金^{が明確に提唱されたのは 1930 年代} gaps" — energy ranges where (ZnSb) 作為半導體材^{年代、量子力学が進展した後} electrons cannot exist. 料, 搭配銀和銅作為電子^{のことでした。この理論では、} Cove's invention may have 電子は原子核の周囲の異なる unintentionally created a Schottky 極, 意外地構造出肖特基^{エネルギーレベル (バンド) junction—a potential barrier at the 結, 使裝置能在陽光下產生動作するとされ、そのバ} interface between a metal and 生電壓。雖然當時 Cove^{間に電子が存在できない} a semiconductor. This structure 並不理解其物理機制, 但^{「ギャップ」があるとされて} effectively separates electrons and 他意識到陽光可以直接轉^{います。} holes generated under sunlight, 化為電能, 開啟了早期太^{ジョージ・コーヴの発明は、おそらく偶然にも} enabling the photovoltaic effect to 陽能發電的探索。^{produce current. Historian Philip Pesavento speculate that Cove's}

ショットキー接合 (Schottky junction) を形成した可能性を示す。これは、金属と半導体材料をペアリングして、銀や銅の電極との間に電位障壁 (potential barrier) が形成され、光によって生成された電子とホールが効果的に分離され、太陽光で電圧を発生する。Although Cove didn't understand the physical mechanisms at the time, he realized sunlight could be directly converted into electricity, which sparked early explorations in solar power generation. These experiments laid the foundation for subsequent developments in semiconductor physics and photovoltaic technology. In 1954, scientists at Bell Labs invented the first practical silicon-based solar cell, considered the first generation of solar technology.



George Cove 和 他 發明 的 太 級 ト ヨ ジ エ ニ ュ ー フ ゴ ブ と 彼 の ソ ラ 一
陽能板。圖片來源: Low Tech パネルの 発明 - 190x。画像出典: George Cove and his solar panel invention. Image
Magazine. [Low Tech Magazine.](#) Source: Low Tech Magazine.

③，和我在 Hackaday 上。

發表的製作大型版本的教學④。因此本章節會專注在我自己 DIY 工序上的經驗細節。

DSSC 的突破在於

引入了多孔半導體層，

料在其中負責吸收光線並

進行電荷分離，從而將光

子轉化為電子。這些染料

被固定在多孔半導體上，

僅用於收集自由電子並將

其作為電流輸送到電極

DSSC 的競爭力源於以下幾點：

(i) 簡單的製備方法

有助於以可持續的方式轉

化太陽能；(ii) 無毒材料的

製造；以及 (iii) 設計靈活

性，這三點使 DIY 製造

實用性的太陽能技術成為

可能。

容我插播一下能隙

的簡單介紹——導體 (如

銅) 沒有顯著的能隙，價

帶與導帶重疊，電子能自

由移動，因此具有良好的

導電性。絕緣體 (如木材

玻璃) 則具有寬能隙，價

此的制約要克服的原因，

第三世代的太陽エネルギー

技術是 1990 年代在探索開始

。這是太陽光

光子エネルギー

技術與植物的光合

過程相似，DSSCs, inspired by the process

of photosynthesis in plants.

Technologies in this category

include DSSCs, organic solar cells,

and perovskite solar cells. In 1991,

Swiss scientist Michael Grätzel

pioneered third-generation solar

technology with the invention of

DSSCs, inspired by the process

of photosynthesis in plants.

Starting With The Sandwich

Now, we delve into the main

topic of this book: how to make

1991 年，瑞士的科學者

Grätzel (Michael Grätzel)

是，植物的光合

過程相似，DSSCs

的傳統方法是

，DSSC を發明しました。

三明治から始める

さて、本書の本題に入ります。実用的な DSSC をどの

ように製作するのか？伝統的

DSSC の製作方法について

は、すでに多くの文献がオ

ンラインで参照可能です。たと

えば、Martineau, David のが

Dyes embedded within this layer

absorb light and facilitate charge

separation, converting photons

into electrons. These dyes are

fixed to the porous semiconductor,

DIY で製作した際の経験や

電子を電子とホールを生成

して、電子を電子とホールを生成

染料 (D) 對應於光電流を生じます。この原理は太陽電池の動作の基本である The concept of the band gap 伏材料の光吸收層：在傳統半導體體材料の能隙決定光吸收範圍，而在 DSSC 中則由染料分子的 HOMO 和 LUMO 決定。染料 (D) 對應於光電流を生じます。この原理は太陽電池の動作の基本である The concept of the band gap 伏材料の光吸收層：在傳統半導體體材料の能隙決定光吸收範圍，而在 DSSC 中則由染料分子的 HOMO 和 LUMO 決定。

多孔二氧化鉻^{（超えます）} electrodes made of FTO
 TiO_2 對應於 n 型半導體 DSSC 的構造を図示する (fluorine-doped tin oxide) glass
 它作為電子的傳輸層^{（とくに）} 、三層構造で三明治形に似て sandwiching a liquid electrolyte.

(110) 對應於 II 型半導體、三層構造で三明治に似ています sandwiching a liquid electrolyte. 体: 它作為電子的傳輸層、います。透明電極としてFTO。In this system, when the photon 將激發態染料中釋放的電(フッ素ドーパ酸化スズ)が energy hhh exceeds or equals the 子高效傳輸到FTO電極 ラスを基板に用い、液体電解 dye's bandgap, electrons can be 質を挟む形で構成されています excited to the LUMO, leading to

這種分工使得 DSSC 造の機能といくつか対応して photovoltaic materials. In います: traditional p-n semiconductors, the 能以簡單的分子系統模仿 bandgap determines the range of 傳統光伏器件的 p-n 結 色素 (D) は、太陽電池 light absorption, while in DSSCs, 構、實現高效的光電轉換。材料の光吸収層に相当します this is determined by the HOMO 過程。這一設計不僅能從來的 p-n 型半導體では、半 LUMO of the dye molecules.

道性・遮光性・成膜性・耐候性等の機能性を併せ持つ半導体材料のバンドギャップが光吸収範囲を決定しますが、Porous Titanium Dioxide (TiO₂): Acts as an n-type semiconductor, serving as the electron transport layer to efficiently

光電極 Photo-electrode	多孔質二酸化チタン dye to the FTO electrode. (TiO ₂) は n 型半導体に相当 します。これは電子の輸送層
1. 我 使用 FTO 玻 故為 DSSC 的基底，	Electrolyte: Functions として機能し、励起状態の色 素から放出された電子を効率 In DSSCs, electrolytes regenerate

FTO 的全名是 Fluorine-doped Tin Oxide，即氟掺雜氧化錫，是一種鍍在玻璃上的透明導電氧化物 (TCO)，具有良好的導電性和光學透明性。FTO 由氟化錫 (SnO₂) 和氟化鋯 (LiF) 組成，具有導電性和光學透明性。FTO 在太陽能板中用作電極，將光能轉換為電能。FTO 的電極會被染料敏化，即電子從染料分子吸收光能後，從染料分子轉移到 FTO 电極上，形成電子空穴對，完成電荷再生過程，類似於孔輸送過程，與 DSSC 中的 p 型半導體作用，形成 p 型半導體。DSSC 在酸化後，電解液會還原染料分子，並在電極上再生電子，完成電荷再生過程，類似於孔輸送過程，與 DSSC 中的 p 型半導體作用，形成 p 型半導體。DSSC 在酸化後，電解液會還原染料分子，並在電極上再生電子，完成電荷再生過程，類似於孔輸送過程，與 DSSC 中的 p 型半導體作用，形成 p 型半導體。

FTO (Fluorine-doped Tin Oxide) 玻璃は従来の太陽電池デバイスの製作方式多様、品質も高効率な光電変換プロセスを実現できます。この設計は、形状、色、材料選択の柔軟性を拡大し、色素増感太陽電池の応用可能性をさらに高めます。

控濺射 (MS, Magnetron Sputtering) 等。其中，CVD 方法生產的 FTO 玻璃品質最佳，能夠承受多次 450°C 的高溫處理而不降解，並保持其原有的表面電阻穩定。相比之物 (TCO) です。高い導電性と光学透明性を持ち、スマートフォンやコンピュータのディスプレイ製造にも使用されています。このため、電子廃棄物から回収することも可能

substrate for DSSC. FTO stands for "Fluorine-doped Tin Oxide"*,

光電極 Photo-electrode 1. DSSC の基板として transparent conductive oxide FTO ガラスを使用します。(TCO) coated on glass. It has excellent electrical conductivity and optical transparency. FTO はフッ素ドーブ酸化ズバの略称で、ガラス上にコートされた透明導電性酸化ガラス is also commonly used in the production of smartphone and computer screens, making it possible to obtain from recycled electronic waste.

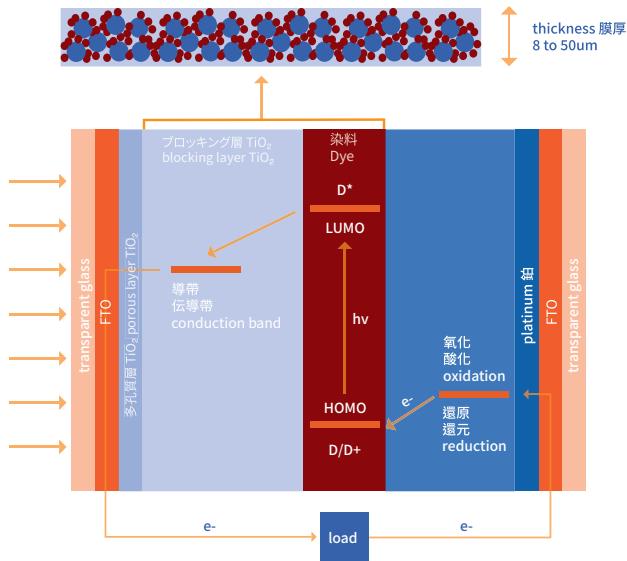
There are various methods for manufacturing FTO glass, leading to differences in quality

和磁控溅射之間，略遜於 CVD，但仍具備一定²的高溫穩定性。這些製程方法的選擇取決於具體應用需求，例如高溫環境中的穩定性、光學透明度以及磁控溅射之間的略遜於 CVD，但仍具備一定²的高溫穩定性。這些製程方法的選擇取決於具體應用需求，例如高溫環境中的穩定性、光學透明度以及

及電導率要求等、因此在Float Glass)、および磁控溅射heat treatments at 450°C without DSSCの應用中、選用高純度ガスサッタリング(MS, Magnetron sputtering) degradation while maintaining 品質のFTO玻璃對電池stable surface resistance. In 性能の長期穩定性至關重要。 その中のCVD法で生産されたcontrast, FTO glass produced たFTOガラスは品質が最も優れ、 magnetron sputtering われおり、450°C以上の高温で僅かに劣化を示す。 Degradation is slight at 450°C and above.

2. 首先在 FTO 玻璃上利用網版或是刮刀塗布二氧化矽阻擋層，並以 450°C 烧結，其作用為處理時溫度在 400°C 以上時能保持其性能。The FFG method produces FTO glass of intermediate quality, slightly inferior to CVD but still

- TiO_2 particle in diameter 10-25nm
- dye pigment moleculars



DSSC 原理图 DSSC 回路图 Diagram of DSSC

是抑制電子的再結合，以上的高温環境では性能のわずかな劣化が見られる場合があります。フロート法で製造されたFTOガラスの品質は、CVD法と磁控スパッタリング法の中間程度で、一定の高温高湿度環境、光学透明性、導電性を持ちながらもCVDのDSSC性能要件（たとえば高温安定性、光学透明度、電気伝導率など）によって決定されます。2. First, a TiO_2 blocking layer is applied onto the FTO glass using either screen printing or the

3. 待上一步完成並~~は~~ことは、電池の長期安定性~~は~~doctor blade method, followed by 待~~は~~玻璃冷卻至室溫, 我~~は~~を確保するために極めて重要~~は~~sintering at 450°C. The blocking 們~~は~~塗在二~~は~~化~~は~~針~~は~~多~~は~~です。 layer serves to suppress electron

2. TiO_2 ブロッキング層の recombination, enhance electron transport efficiency, and prevent short circuits between the

電子の再結合を抑制し、電子雲導効率を向上させることで efficiency. In this book, the TiO_2 層は電解質 blocking layer が準備されています。また、この層は電解質 BL-1 から Greatcell Solar, applied が積み重なっています。この層は、DSSC の性質を防ぎ、via the Dr. Blade method 5 または 100-mesh screen printing. 料分子により光轉換率を向上させます。簡易な方法

調整這一層的厚度會影響
轉換率和塗層透明度，
細的網版印刷網目代表著
DSSC 的效率是やや低下しま
法では、この層を省略するこ
とも可能ですが、その場合、is completed and the glass has
cooled to room temperature, a
3. Once the previous step
is completed and the glass has
cooled to room temperature, a

更薄の層で、本書中製^{ブロッキング層}は、Greater^{onto the blocking layer, followed}作の二酸化鈦多孔層は^{the BL-1 を使用し、D_b by sintering at 450°C. This layer}用購自 Greatcell Solar^{Blade 法 ⑤ または 100 メッシュ}consists of TiO₂ nanoparticles with^{ユのスクリーンを用いて塗布}18NR-T^{しました。}、使^{dia. of 20–30 nm, which}用 Dr.Blade^{しました。}方法和 150 目網版塗布。^{form a coral reef-like nanoporous}

3. TiO_2 メソポーラス層の structure after sintering. This 塗布次に、ガラスが室温に冷却されると、structure provides an extremely

染料

待上一步完成並待^{ク層の上に TiO₂ メソポーラ} adsorption of a significant amount 罩を塗布し、同様に 450 °C ^で of dye molecules to enhance light 玻璃冷卻至室溫，將燒結^{焼結します。この層は} conversion efficiency. Adjusting 完成的光電極浸入染料之^{粒子} が 20-30nm 的 TiO₂ ノ^粒 the thickness of this layer affects 中染色大約 8-24 小時^{子で構成され、焼結後にサ} both the conversion efficiency and 才能完成一個光電極，配^置のような多孔質構造を^れ the transparency of the coating. 製過程中可輕微加熱^{(例}成します。この構造は巨大な^A Finer screen mesh results in a 如 50 °C⁾，以促進染料^{表面積を提供し、大量の染料} thinner coating. In this book, the 溶解，但避免過高溫度^{分子を吸着することで光変換} TiO₂ mesoporous layer is prepared 染料是 DSSC 的靈魂^{効率を向上させます。この層に} using 18NR-T from Greatcell Solar, 染料吸收光的能力決定了^{厚みを調整することで、変換効率や透明性が変わります。} applied via the Dr. Blade method^{換効率や透明性が変わります。} and 150-mesh screen printing.

DSSC 吸收光譜的寬度。本書では、Greatcell Solar 社の

本展览中使用的 N719 是 18NR-T を使用し、Dr. Blade 法 Dyes

DSSC 中廣泛使用的染料，價格較低，具有遠遠不如銀漿料的轉換率。其 150 メッシュのスクリーンを用いて塗布しました。 Once the previous step is completed and the glass has cooled to room temperature.

染料

貴金屬釤 (Ruthinium) 前のステップが完了し、
成份普遍被認為毒性較高^{ガラス}が室溫まで冷却された
低，但仍不能大量排放其後，燒結された光電極を染料
廢液，現在已有開發更為^に浸し、約 8 ~ 24 時間染色^す。During preparation, gentle
環保的替代有機染料如^{ること}で光電極が完成します。heating (e.g., 50°C) may be
D35。常見的 N719 配方^{調製過程では}、染料の溶解を
濃度是 0.3-0.5 莫耳，將^{促進するために}穩やかに加熱^{excessively high temperatures}
(例: 50°C) することができ^{should be avoided.}

0.1 克的 N719 粉末溶於 250ml 的無水乙醇可以取得莫耳的染料, 我通常也使用購自一般藥房的 95% 乙醇來調製。 但是, 高溫になりすぎない う注意が必要です。 染料は DSSC の核心部 分であり、光の吸収能力を決定する。DSSC の吸収スペクトルの幅 The dye is the core component of a DSSC, as its ability to absorb light determines the width of the absorption spectrum. The N719 dye used in

對電極

對電極一樣使用FTO玻璃做為基底。鈀催化的主要作用是提高電化學反應的速率，尤其是加速碘基氧化還原電解液中的反應。比較的低價格であり、天然染料と比べてはるかに高い変換効率を持っています。その重金属であるルテニウム(Ru)成分は一般的に低毒性と考へられていますが、廢液を大量に放出する。

碘還原反応 ($I_3^- \rightarrow I^-$) に排出する

鉑憑藉其卓越的催化活性，能有效降低該反應的活化能，從而顯著提升反應效率。此外，鉑對碘甚麼樣的抗腐蝕性，可確保 DSSC 在長時間運行中的穩定性能。在製備過程中，鉑催化層通常在 380~420°C 下進行燒結。本書裡鉑催化層採用的是。

現在、より環境に優しい有機染料の代替品 (D35 の D35, have now been developed. ど) も開発されています。A common concentration for N719 の一般的な濃度は N719 dye solutions is 0.3~0.5 M. 0.3 ~ 0.5 M であります。0.1 g の N719 powder を 250 mL の無水エタノールに溶解すると、0.3 M yields a 0.3 M solution. I also commonly use 95% ethanol, which can be purchased from regular pharmacies, for preparation.

Counter electrode

燒結溫度曲線

温度曲線の控制主要な要素は、**温度**と**電解液**である。Platinum, with its exceptional catalytic activity, effectively lowers the activation energy of this reaction, significantly improving its efficiency. Additionally, platinum exhibits excellent corrosion resistance against iodide-based electrolytes, ensuring the long-term stability of the cell.

根據多數文獻，**銳 blade 法** 与 **100 メッシュのクリーン印刷** applied via the Dr. Blade method 鈦礦相具備較高的多孔性，有利於染料吸附，而 **100-mesh screen printing** 則是將染料與膠水混合後，直接塗布在基材上。

Sintering temperature

金紅石相則提供較佳的電子傳輸效率。實驗結果顯示燒結溫度曲線溫度プロファイルの制御是影響電導率的主因。

示，當二氧化鈦層中約含 is, 主に 2 つの重要な要素 two key factors. First, ensuring 25% 金紅石相與 75% 鈦 関係しています。第一に、約 that the solvents in the titanium 鈦礦相時，太陽能電池可 260°C で二酸化チタンペース dioxide and platinum pastes are トおよび白金ペースト中の溶 fully evaporated at around 260°C. 達到最佳轉換效率。 第二に、二酸化チタンの結晶 behavior of the titanium dioxide. 媒を完全に揮発させること。Second, the phase transition

溫度控制與玻璃基 第二に、二酸化チタンの結晶 behavior of the titanium dioxide. 底的退火過程密切相關 相の変化です。 TiO_2 can form a nanoporous 一般 FTO 玻璃屬於鈉鈣 温度管理はガラス基板の structure at approximately 玻璃。劇烈的加熱或快速 アニール処理と密接に関連 450°C, but its actual crystal 升溫會使玻璃內部的應 ています。一般的に、FTO ガラス phase transition occurs at around



浸染在 N719 液中的二氧化鈦 A titanium dioxide photoanode immersed in N719 dye solution, alongside N719 粉末 purchased from Greatcell Solar. A titanium dioxide photoanode immersed in N719 dye solution, alongside N719 powder purchased from Greatcell Solar.



N719 染料溶液に浸された酸化チタン N719 dye solution, alongside N719 powder purchased from Greatcell Solar.

力無法釋放，從而引起 ラスはソーダライムガラスに 500°C, changing from the anatase 熱變形或破裂。另外 分類されます。急速な加熱や phase to the rutile phase. 液態電解液の注入需要兩 急速な昇温は、ガラス内部の According to most literature, 片玻璃之間保持微小且堅 応力を解放できず、熱変形や the anatase phase offers higher 密平整的空隙，毛細作用 破損を引き起こす可能性がある porosity, which is beneficial for 才能發揮用使電解液自 ます。また、液体電解質を dye adsorption, while the rutile 動充填在兩片玻璃間的 phase provides better electron 二の間に微細で平坦な間隙を transport efficiency. Experimental 氧化鈦多孔層中。大氣壓 保つ必要があります。そろそろ results indicate that the optimal 力有助於電解液的流動，ことで毛細管現象が働き、conversion efficiency of the solar 電解質が自動的に二酸化チタン cell is achieved when the TiO_2 因此即使是微小的熱變形 の多孔層へ充填されます layer contains approximately 也會使大氣壓力的作用失 大気圧は電解質の流動を助け 25% rutile and 75% anatase. 效，進而影響電解液的均 壇要素であるため、わずかな Temperature control is closely 勻分佈，這使得製作大於 热変形でここでの効果が損なわれ related to the annealing process 10x10cm 的 DSSC 特別 い、電解質の均一な分布に支 10x10cm を超える glass. Intense heating or rapid これが、10 × 10cm を超える DSSC の製作が特に困難である temperature increase can prevent 困難。 温度 (glass transition) の理由一つです。 internal stress from being released, temperature, T_g 炉内の gap between the two glass sheets.

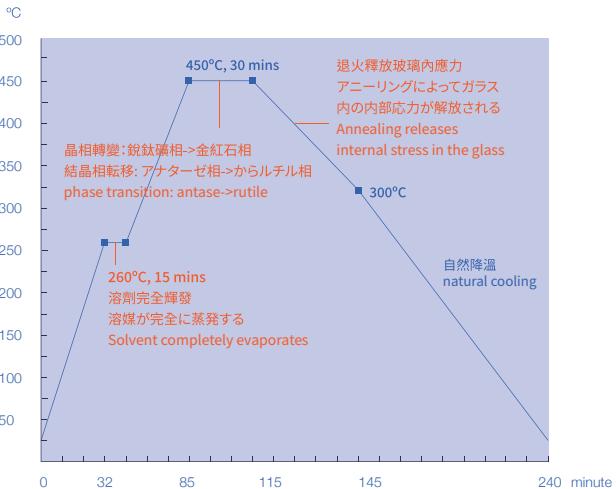
鈉鈣玻璃的轉變 炉の温度に達するとガラスは leading to thermal deformation or 500°C, 即當溫度達到移溫度 (T_g) = 500°C であります。cracking. Moreover, when injecting 500°C 時，玻璃會從固 固体から可塑状態に変化し始 cracks. したがって、炉内の gap between the two glass sheets. 整度非常重要。另外，鈉 鈣玻璃的内部應力能夠在 This allows capillary action to 非常に重要なです。また、ソーラー機能を正常に発揮するため、電解質は automatically filled 300°C 以上得到有效釋放 300°C を超えると効果的に解入到 the porous TiO_2 layer between 放，這意味著當溫度超過 300°C 時，我們應該採取 改善されるため、この温度を超えた場合は保守的な昇温曲線 pressure aids the flow of the electrolyte, so even minor thermal deformation can hinder this effect. 較保守的的升溫曲線。

沙林膜封裝 サリン膜による封止 resulting in uneven distribution

DSSC 中的碘電解液與染料分子需要徹底與 DSSCにおいて、ヨウ素 of the electrolyte. This makes it particularly difficult to fabricate 液與染料分子需要徹底與 電解液と色素分子は空気や 高い温度 (T_g) of soda-lime 露と完全に遮断されなくては DSSCs larger than 10x10 cm. 空氣與溼氣隔絕才能具有 めて長寿命が実現します。そ The glass transition 長期的壽命，因此封裝是 のため、封止は DSSC の壽命 temperature (T_g) of soda-lime を左右する最も重要な要素 glass is 500°C, at which point DSSC 壽命長度最重要的す。 to the material transitions from a

關鍵。私は主に Greatcell Solar rigid solid to a deformable state.我大多使用購から購入したデュポン製のガラス。Therefore, the flatness of the kiln Greatcell Solar 的杜邦的シリルフィルム (Surlyn) を使用する platform is extremely important.沙林膜 (Surlyn) , 其は しています。これは DSSC で。Additionally, the internal stress でよく使われる封止材であり, in soda-lime glass is effectively 一種常用於 DSSC 中的封止材。優れた接着性とヨウ素系電解液が解消された以上で。released above 300°C, which 裝材料, 因其具備優異的液に対する高い耐薬品性を持つ。means that once this temperature 物理化學特性, 包括良好な性質。is exceeded, a more conservative 的粘附性和對碘基電解液。Leonardi, E. (2010) の研究によると、シリルフィルム 的高耐化學性。

根據 Leonard E. (2010) 的研究, 沙林膜是少數不會與碘基電解液發生化學反應的材料之一。在 DSSCs, both はヨウ素電解液と化学反応を起こさない数少ない材料の一 In DSSCs, both つであり、60°C以上の環境でiodine-based electrolyte and the dye molecules must be completely isolated from air はヨウ素電解液と化学反応を Surlyn Encapsulation ができます。そのため、DSSCs はヨウ素電解液と化学反応を Surlyn Encapsulation



二¹酸化²チタン³多孔層⁴焼結⁵温度曲線⁶と⁷酸化チタン⁸多孔層⁹の焼結¹⁰温度曲線¹¹ Sintering temperature curve of the TiO_2 porous layer.

Appropriate Off-Grid Solar RAVE

一，同時也能在 60°C 以上的環境中有效防止電解液的滲漏，這使其成為 DSSC 封裝中可靠且長效的選擇。
and moisture to ensure long-term operational stability. As such, encapsulation is one of the most critical factors determining the lifespan of a DSSC.

便快速。 穴を開ける設備がないため、不化学的にヨウ素と反応しない。 not chemically react with iodine
但是由於我缺少在玻璃上鑽洞的設備，因此還 BSSC の四辺にはサリンフィ electrolytes, and it effectively
是需要在 DSSC 的四週留^留。これにより、封止後 prevents electrolyte leakage even in
下沙林膜開口，而不是完全^完もガラスに穴を開けずに電 These characteristics make it a
全封死，這樣封裝完之後^{之後}解液を注入できます。 reliable and durable encapsulation
才能將電解液注入沒有玻^玻璃鑽孔的 DSSC 之中。 この開口部を完全に密封 choice for DSSC applications.
する方法はまだ見つかっておらず、そのため私の DSSC が fortunate to receive generous
如何徹底封死這些^{這些}壽命は数週間程度です。 material support from Janne

解決方法，因此我製造

私は台湾の永光化学 films of different thicknesses, 会社 (Everlight) custom-made in his laboratory. 命。

Chemical) の UV 吸收剤「E-100A」

我也曾使用過台灣永光公司的UV固化膠，這種膠是用UV素系電解液來固化的，其耐性也還可以。這種膠的熔點約在90°C左右，並可以用夾子夾住玻璃，然後用熱風槍加熱到140°C，就可以把膠固定在玻璃上了。這種膠的塗布過程非常方便，因為可以用噴漆槍來塗布，並可以用刷子來塗布。

板印刷，因此可以透過網印義能，製作效率および生產性が大きく向上します。Eversolar® AB-313 は 360 ~ 365nm または 405nm of the DSSC, instead of sealing the edges of the two electrodes fixed by long clamps. of the glass, I still need to leave small openings along the four edges of the DSSC, instead of sealing the edges of the two electrodes fixed by long clamps. of the glass, I still need to leave small openings along the four edges of the DSSC, instead of sealing the edges of the two electrodes fixed by long clamps.

Eversolar® AB-313 硬化はガラスとガラスの間に注入する液状電解質を注入する。DSSCs に未満の穴を残す。接着剤は UV 光で硬化が可能で、完全に硬化する。これは UV 光を用いて、UV 光では硬化せず、スクリーン印刷で接着剤を注入する。As of now, I haven't found a reliable method to completely seal these edge openings, which limits the lifespan of my DSSCs to just a few weeks.

UV 光固化、並び網板上の Eversolar® AB-313 の 価格は 1kg あたり約 2,115.7 米ドルであり、1枚あたりの使用量は非常に少ないものの、DIY AB-313, a UV-curable adhesive produced by Everlight Chemical Industrial Corporation in Taiwan.

Eversolar® AB



窯の中でサリン膜による熱封止が行われる DSSC で、内部の 4 つの電池はサリン膜で隔てられ、2 つの電池は内部 4 個の電池をサリン膜で隔てられ、2 つの電池は長尾クリップで固定されています。The DSSC, which is about to undergo thermal sealing with a saran film in the kiln, has its four internal cells separated by the saran film, with the edges of the two electrodes fixed by long clamps.

313 的價格約為每公斤

2,115.7 美金，這對 DIY 愛好者是巨大的負擔，雖然每一片電池中所使用的碘素系電解液注入後，DSSC 完成了後，2 つを組み立て、be applied via screen printing, the coating thickness can be

極少。由 DSSC 完成します。由 defined by the mesh count, 素系電解液システム (I₃) significantly improving production efficiency and scalability.

碘基電解質 (I₃)

は、DSSC において重要な役割を果たします。これは電荷の再生の酸化還元として機能する。Eversolar® AB-313 can be cured using 360~365 nm or 405 nm light sources, and it only cures in the UV-exposed region. 碘基電解液 (I₃) は、染料分子が再び光を吸収し、電子循環の完全なプロセス。The adhesive exposed to air does not cure under UV light. The electrolyte is Greatcell Solalight. Residual adhesive left on the substrate can be removed with strong solvents such as n-heptane.

DSSC モジュール (DSMs) The price of Eversolar® AB-313 is approximately USD 2,115.7 per kilogram, which is a considerable burden for DIY enthusiasts, despite the very small quantity used per solar cell.

DSSC 模組 (DSMs)

これは小学校の理科で乾電池の直列接続と並列接続を学ぶ。After the photo-electrode and counter-electrode are prepared, they are assembled, and an iodine-based electrolyte is injected to complete the DSSC. The iodine-based redox electrolyte system (I₃) plays a key role in DSSCs by acting as a charge regeneration medium. It efficiently reduces the oxidized dye (D⁺) back to its ground state (D), enabling dye molecules to reabsorb photons and complete the electron cycle. The iodine-based electrolyte I used, EL-HSE, was purchased from Greatcell Solar.

為 DSMs (Dye-Sensitized Solar Modules)，並且有各種配置，每一個都有各自的優勢和特點。使用 DSMs 的好處就是不用將許多個獨立的 DSSC 透過外部電線串並連在一起，置之，導電材料 (たとえば、這些外部的電線接點會製造更多阻值的不均性，有時還會製造更多總電阻，尤其是在串聯的情況時。

並列型

並列型では、複數的光電流を探索する方法で、DSSC の構造を理解する。透過活性ユニットを「平行」に配置する。導電材料 (たとえば、薄いフィルムコート) を同じガラス基板上に複数枚重ねて、それを並列接続する。これにより、電流を調整と最適化する。並列回路が形成されます。

- 利点：高電流出力：並列回路は、各セルの電圧を加算するため、電流を増加させます。
- 不足：高電流出力：並列回路は、各セルの電圧を加算するため、電流を増加させます。

並聯型

並聯型設計將多個光

電活性單元以「平行」方式排列，電極之間以導電材料 (如網版印刷銀線於導電玻璃上) 連接，形成並聯電路。

優勢：高電流輸出：

適合於需要較大電流的應用，例如光伏板或戶外模組。易於擴展：可以簡單地通過增加單元數來擴大模組面積。

挑戰：並聯結構需

要在電極連接點上保證低

電阻以避免能量損耗。並

且在多個單一並聯電池

中，總輸出會表現最差

「The weakest link」，電物質

如果不採取保護措施 (如

均平衡路或智能管理系

統)，這種現象會導致整

Dye-Sensitized Solar Modules (DSMs)

After gaining a basic

understanding of DSSC structures, we can explore how to modify the sequence and pattern of thin-film coatings on the same glass substrate to create series or parallel configurations. This can adjust and optimize the output voltage or current. It's similar to how we learned in elementary school to connect batteries in series or parallel.

- 利点：高電流出力：並列回路は、各セルの電圧を加算するため、電流を増加させます。
- 不足：高電流出力：並列回路は、各セルの電圧を加算するため、電流を増加させます。

This design, which arranges

multiple individual DSSCs on a single piece of FTO glass, is referred to as DSMs (Dye-Sensitized Solar Modules). DSMs have various configurations, each with its own strengths and features. The advantage of using

並列回路內的最性能 DSMs is that it eliminates the need to connect multiple independent cells together. This is known as the 'weakest link' problem, where external wire connections often introduce uneven resistance, and in series configurations, may even increase total resistance.

Parallel Configuration

Parallel configurations

Z型直列型では、電圧を向上させるために、2枚のガラス間で銀線や炭素系導電物質を使用して垂直回路を形成します。

- 利点：銀線の使用により効率が高まり、並列型より電流を抑ええた安定した出力
- 不足：電流を抑ええた安定した出力

組 DSSC 效率降低，甚至得られます。最弱リンクの currents, such as photovoltaic panels or outdoor modules.

- 課題：2枚の導電ガラス間で銀線を用いて垂直回路を構築する必要があり、短絡を防ぐために精密な隔離設計
- スケーラビリティ：The module area can be expanded simply by increasing the number of cells.
- 挑戦：Ensuring low resistance at electrode junctions is critical to avoid energy losses.

Z型串聯

Z型串聯提升電壓，需通過銀線或碳基導電物質在兩片導電玻璃之間形

成垂直電路。

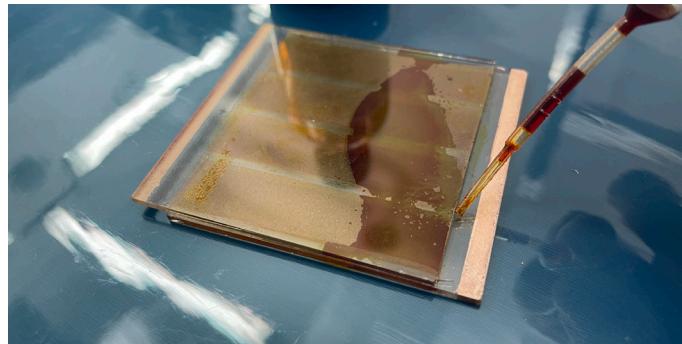
- 優勢：有銀線參與，因此效率較高，串聯電壓相對於並聯提升電流是提升輸出的較穩定做法，因為沒有 the weakest link 來實現。
- 問題：同樣直列回路電壓

- 利点：垂直導通が可能であり、製造プロセスが簡単。
- 挑戦：需要在兩片導電玻璃之間製作銀線來製作垂直導通電路，需要精確的隔離設計以防止兩
- 課題：對電極和光電極

Z-Type Series Configuration

Z-Type series configurations

increase voltage by forming



在封裝好的兩片玻璃之間的細縫中注入電解液。將電解液注入到兩片密封的玻璃片之間。

片導雷玻璃短路。

受光バランスが崩れると出力性能が低下する。 vertical circuits between two conductive glass layers using

W型串聯

一樣是串聯電路用

設備實際に利潤がある。Advantages: Higher efficiency: The involvement of silver lines boosts efficiency. Increasing series voltage is a more stable approach compared to the open-circuit voltage (Voc) and short-circuit current (Isc) approach.

・挑戦：由於對電極となります。オビビテック for vertical circuit connections and isolation layers to prevent short circuits between the two conductive glass pieces. 和光電極被交錯放置在兩 (ovptech.com) の社員から同じく 18NR-T を使用して作された DSSC の測定データを同隆。

社は 2014 年から 2020 年頃まで DSSC の生産ラインを保持
W-type Series Configuration
This configuration also uses

電圧電流計付印加部 して いました。私の開放電路 series circuits to boost voltage
受限於設備資源，と短絡電流のデータは、同 but alternates photo-electrodes
最初我只使用一般家用のデータと大きく異なるこ and counter-electrodes on
電錶，在自然陽光下或 はなく、時にはわずかに上 two conductive glass sheets,
LED 檻燈下測量開路電流 より、手作業で太陽電池パ to create vertical connections.
壓 (Voc) 和短路電流 ルを作製し続ける自信が深ま • Advantages: Simplified
(Jsc) 。雖然這無法完製しました manufacturing. Vertical

全代表太陽能板的品質，太陽電池板的完全
但它仍是重要的初步資品質を把握するには、** 電壓without silver lines.
訊。一位來自奧匹茲公司 (opvtech.com) 的員電流特性曲線 (I-V 曲線) を測 Ease of fabrication: The
工提供了一樣用 18NR-T 陽電池板的性能を表すも定する必要があります。この process is straightforward and
製作的 DSSC 的測量數です。この曲線は、パネルは異なる負荷条件下で less prone to corrosion issues.
據，該公司大約在 2014 的出力電流と電圧の関係を可 Challenges: Uneven
年到 2020 年期間有仍保し、開放電圧 (Voc) 、短絡電流 (Isc) 、I-V 曲線の始点と uneven light exposure,
有 DSSC 的生產線。通常最大電力点 (Maximum Power
常我的開路電壓和短路電流數據與該公司提供的數 Point, MPP) ** などの重要な情
Voltage-Current

據相差不大，有時甚至略報を提供します。

Characteristic Curve

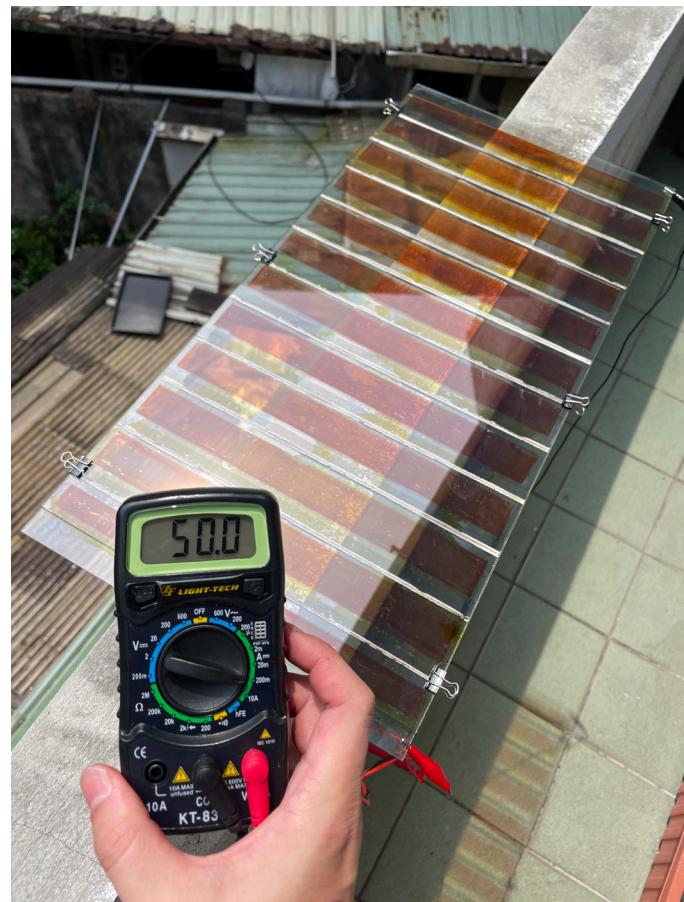
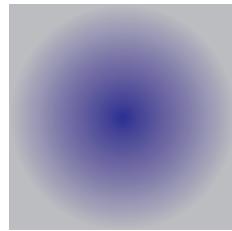
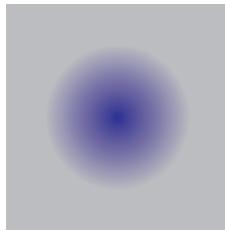
高，這也增加了我繼續手工製造太陽能板的信心。I-V 曲線（電流 - 電壓曲線）是太陽電池パネルの特性を最初に標準的な多機能マルチメータで測定するため、太陽電池パネルの信頼性を理解するための手段です。

要實際得知太陽能板的完整品質我們需要測得電壓 - 電流特性曲線 (I-V 曲線)，其用於描述太陽能電池板在不同負載條件下的性能。這條曲線展現了電池板輸出的電流與電壓之間的關係，並提供了許多關鍵資訊，例如開路電壓 (Voc)、短路電流 (Isc) 也就是位於 I-V 曲線的頭與尾的兩點，還有曲線上的頂點，也就是最大功率點 (Maximum Power Point, MPP)。曲線的開路電壓 (Voc) 和短路電流 (Isc) 代表了太陽能板的性能指標。曲線的頭和尾分別代表了太陽能板在自然太陽光或 LED 燈下的工作狀態。曲線的頂點則代表了太陽能板在最佳負載條件下的工作狀態。這些資訊對於選擇太陽能板的尺寸和安裝位置非常重要。

I-V 曲線幫助我們了解太陽能電池板的轉換效率和性能表現。透過曲線形狀和數據，可以快速判斷太陽能板是否運作正常或是否需要維修。不同的負載條件會影響電池板的輸出功率。I-V 曲線提供的信息可以用來設計與之匹配的逆變器、控制器或其他系統元件，以達到最佳性能。	さらに、I-V 曲線は各太陽電池モジュールの「指紋」のようなものであり、材料や手作業で太陽電池パネルを製造する工程、サイズなどの微細な違いによって、それそれぞれのパネルに固有のカーブが形成されます。これにより、個々の太陽電池パネルを識別するための特徴的な指標としても利用できます。
太陽光強度、溫度等環境因素也會改變 I-V 曲線，這也使得電壓 - 電流特性曲線也是分析環境對電池板影響的重要依據。	さらに、I-V 曲線は各太陽電池モジュールの「指紋」のようなものであり、材料や手作業で太陽電池パネルを製造する工程、サイズなどの微細な違いによって、それそれぞれのパネルに固有のカーブが形成されます。これにより、個々の太陽電池パネルを識別するための特徴的な指標としても利用できます。



- FTO層 (フッ素ドープ酸化スズ) FTO layer
- 銀 Ag
- 封装 シーラント sealant
- 玻璃 ガラス glass
- 鉑 白金 platinum
- 電解液 電解質 electrolyte
- TiO_x多孔層 TiO_x 多孔質層 TiO_x porous layer
- TiO_x阻隔層 TiO_x ブロック層 TiO_x blocking layer



由 12 個子電池以 z-type 方式串聯 2 個の子電池を Z 型に直列接続して 30 × 60 cm DSSC composed of 12 sub-cells connected in a z-type series configuration. 30 × 60 cm DSSC composed of 12 sub-cells connected in a z-type series configuration. 在日常陽光下，白射下での短絡電流は約 50 mA で測定されました。Under normal sunlight, the measured short-circuit current was approximately 50 mA.

此外，I-V 曲線就像[△]はその透明性にあります。performance of solar panels. 每片太陽能電池板的「指[△]DSSC の光電極は、二酸化チ[△] By analyzing the shape 紋」，每塊太陽能電池板[△]タンのナノ粒子を焼結して[△]and data of the curve, we can 的 I-V 曲線因材料、製造[△]されています。これらの粒子[△]quickly determine whether a 工藝、尺寸等細微差異[△]は非常に均一で微細[△](約 20 [△]panel is functioning properly 而[△]メートル) であり、その[△]or may require maintenance. 不同，這使得它成為辨別[△]な粒径が光の散乱を減少[△]Different load conditions affect 電池板個體的獨特標誌[△]せます。特に可視光の範囲で[△]the panel's power output, and

為什麼是透明的？

特殊な分散および処理技術: compatible inverters, controllers, よって、粒子が均一に分布し or other system components to 復元後は密度が高く均一な薄 achieve optimal performance.

璃是透明的？又為什麼膜を形成することで、微小な Environmental factors 氧化鈦塗層可以是彩色透空隙による散乱もさらに減少 such as sunlight intensity and 明的？與傳統矽基太陽能もします。 temperature also alter the I-V

電池不同，DSSC 的一大特點是其透明性。DSSC 的半電極是由二氧化鈷製成，二酸化チタンの透明性 curve, making it a valuable tool for analyzing how external conditions は、半導体材料の觀点からも説明できます。前述の通り、impact the panel's behavior.

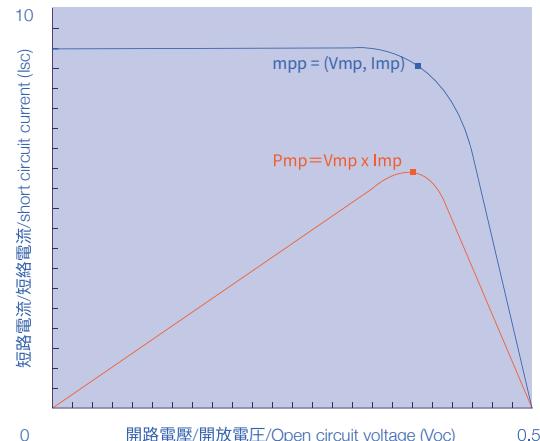
的光電極定田二氧化鉻ガラスのような絶縁体は広い
米粉末焼結而成、這些粉
Moreover, the I-V curve is
バンドギャップを持ち、ほどlike a “fingerprint” for each solar

末の顆粒極為均勻且微小の光子がその内部の電子module. Due to variations in (約 20 納米)。細小的電極起してバンドギャップmaterial, manufacturing process, 粒徑可以減少光的散射, 超えることができません。この size, each panel produces 尤其是在可見光範圍内, のため、光が吸収されずに a slightly different I-V profile, ラスを通過します。また、making it a unique identifier for 散射減少後透明性自然得ラスの無秩序なアモルファス distinguishing individual units.

Why Transparent?

可以均勻分佈，並在燒結。同樣地，二釕化チタンも後形成緻密且均勻の薄膜，進一步減少由微小空洞。This is both a simple and profound question: why is glass visible light的吸收が非常に少ない transparent? And why can titanium dioxide coatings be colorful and transparent? たゞ透明性を示します。たゞ

隙引起的散射。 し、二酸化チタンは規則的な結晶格子構造を持ち、これが二酸化チタンの透明性の原因となっています。さらに、二酸化チタンの結晶格子が改善され、透明性が向上する(約20ナノメートル)。因此光能穿過玻璃而吸收する特性も備わります。



不被吸收。同時，玻璃的**これら**特性により、二酸化**within the visible light range**，
無序非晶結構也有效**減少****チタン**是 DSSC 的重要**材料****thereby enhancing transparency**。
チタン的散射，這使得玻璃**变得更透明**。 **Moreover**，**through** **specialized**

「光の散射」這使得玻璃看起來透明。二氧化鈦也具有寬能隙，對可見光的吸收非常低，但它的特點是具有規律的晶格結構。少光的散射，因此二氧化鈦薄膜也呈現出透明性。此外，燒結和退火過程能進一步改善二氧化鈦的晶格排列，不僅提升了其透明性，還讓薄膜對紫外光有極高的吸收能力。這些特性使得二氧化鈦成為

アグリボルタイク DSSC (色素増感太陽電池) 的透明性は、特に建築設計において、半透明の太陽電池システムを農地に設置することで、understood from the perspective of semiconductor materials. As mentioned earlier, insulators like glass have a wide bandgap, meaning most photons lack the energy needed to excite electrons across the bandgap. たとえば、クロロフ

dispersion and processing techniques, the nanoparticles can be evenly distributed and form a dense, uniform film after interring, further minimizing scattering caused by microvoids. The transparency of titanium dioxide can also be achieved by using a glass substrate, which can be easily integrated into building designs. This results in a semi-transparent solar cell system that can be installed on agricultural land, as understood from the perspective of semiconductor materials. As mentioned earlier, insulators like glass have a wide bandgap, meaning most photons lack the energy needed to excite electrons across the bandgap. たとえば、クロロフ



Marc Dusselle 在台北 Wise Mouse Party Lab 設計的電壓 - 電流特性曲線測量儀第一版快速原型。⑥ Marc Dusselle によって台北の Wise Mouse Party Lab で設計された I-V 特性測定装置の第一版。⑥

DSSC 的重要材料。 ル（葉緑素）は主に青色光を through glass without being 赤色光を吸収し、緑色光の光 absorbed. Additionally, the

光伏農業

DSSC 的透明性，使 DSSC は染料の選定によつて、ガラスの透過性を高め、光の散乱を減らす。また、建築設計中に大きな透明性を実現する。建築物の外観が透明化され、太陽光の吸収が減少する。また、太陽光の透過率が高いため、建物内での光の分布が改善される。また、太陽光の吸収が減少するため、建物の熱収支が改善される。また、太陽光の透過率が高いため、建物内での光の分布が改善される。また、太陽光の吸収が減少するため、建物の熱収支が改善される。

例如葉綠素主要吸收藍光和紅光，而綠光^{吸收}化させます。
the lattice alignment of titanium dioxide, not only enhancing the light-absorbing processes in plants.

DSSC は農地の微気候 transparency but also enabling
光合作用の影響有限、整にも貢献します。夏の高溫
DSSC 通過染色技術 地域では、DSSC が地表の光 more effectively. These
只吸取綠光發電、同時保変動を抑え、土壤の乾燥を
留其他波段給植物使用 逕らせ、灌漑の頻度を減ら
這樣的光線調控能確保 すことができ、生産コストの削

DSSC 底下的作物の量減にもつながります。 **Agrivoltaics**
 與質量不受影響，甚至在 **エネルギー**面では、農地 **The transparency of dye-sensitized solar cells (DSSCs)**
 某些情況下還得以提升。機械や灌溉設備、IoT 機器など **offers tremendous potential in architectural design—especially**
 此外，DSSC 的遮蔽效果、**電力供給源としても活用** **in agrivoltaics, where agriculture and solar energy coexist.**
 還可能減少紫外線與紅外 **き、エネルギー自給自足**
 線的過度暴露，降低作物 **農業インフラを実現する可**
 受熱與乾燥的風險，為 **能性があります。**
When semi-transparent

現在の DSSC 製品は耐候性に課題があり、実用規模で農地、作物の下に設置されても、太陽電池発電システムはまだ **still receive natural light**。一般的なDIY **filtered light** が **even be tuned** して、太陽電池の効率を高めることができます。

DSSC 對微氣候的調節やアート、コンセプチュアルな建築分野においては、DSSC は農業土地の管理導入による建築分野においては、DSSC は more favorable for plant growth, creating a new model of "agrivoltaic symbiosis." For example, chlorophyll primarily absorbs blue and red光を提供するため、植物の成長を促進する。また、アートや建築分野においては、DSSC の多様な色彩や透明度変化を活用して、新しい建築モデルを構築する。また、DSSC の導入により、農業地帯の水資源の節約や、農作物の品質向上など、多くの利点が得られる。また、DSSC の導入により、農業地帯の水資源の節約や、農作物の品質向上など、多くの利点が得られる。

Agrivoltaics

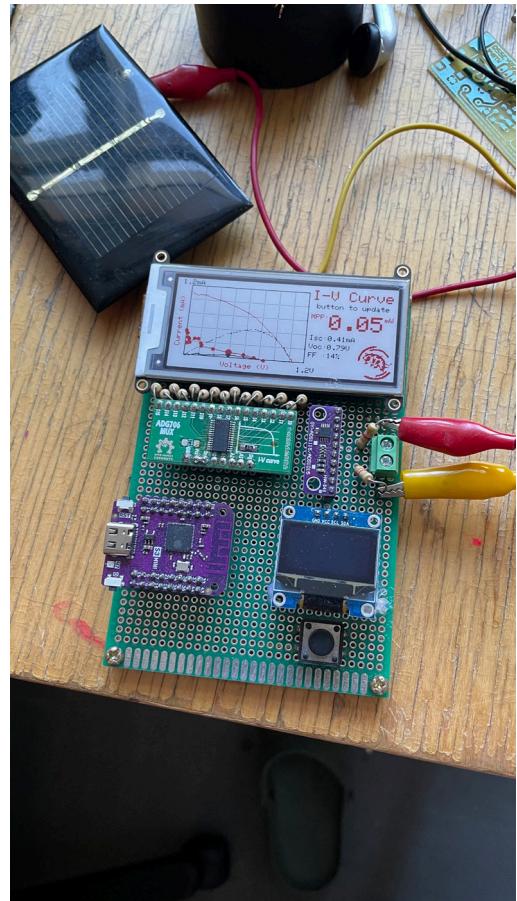
The transparency of dye-sensitized solar cells (DSSCs) offers tremendous potential in architectural design—especially agrivoltaics, where agriculture and solar energy coexist.

When semi-transparent solar systems are installed over farmland, crops beneath can still receive natural light. The filtered light can even be tuned

provide spectral ranges that are more favorable for plant growth, creating a new model "agrivoltaic symbiosis." For example, chlorophyll mainly absorbs blue and red



Marc Dusseiller 在台北 Wise Mouse Party Lab 開發他的 I-V 曲線測試儀。Marc Dusseiller は台北の Wise Mouse Party Lab にて、I-V 曲線測定器を開発しました。



Marc Dusseiller 開發的第二個 I-V 曲線測試儀。Marc Dusseiller が開発した第2版の I-V 曲線測定器。

在本次展覽中所使用的 All DSSC materials and
有 DSSC 材料與價格 すべての DSSC 材料とその価格 costs used in this exhibition
は以下の通りです

items	spec	unit	RMB	AUD	USD	JPY
FTO glass 導電玻璃 ガラス	60x60x1.6mm	64	448		61	9,638
FTO glass 導電玻璃 ガラス	104x147x1.6mm	80	1,920		263	41,306
FTO glass 導電玻璃 ガラス	320x38x2.2mm	67	1,300		178	27,968
FTO glass 導電玻璃 ガラス	520x320x2.2mm	3			88	13,778
FTO glass 導電玻璃 ガラス	320x320x2.2mm	3			69	10,836
Surlyn film (60um) 熱封沙林膜 フィルム	200*300mm	5	750		103	16,135
TiO2 paste 18NR-T 二氧化鉄漿料 ペースト	100g	1		477	297	46,577
Pt paste PT-1 鉑漿料 ベースト	100g	1		166	103	16,209
TiO2 blocking layer BL-1 二氧化鉄 阻擋層漿料 ブロッキング層	100g	1		227	141	22,166
N719 染料	1g	1		254	158	24,802
EL-HSE 電解液	50ml	1		129	80	12,596
Eversolar [®] AB-313	30g	1			60	9343
total					1,601	251,355

DSSC 總面積： $(6 \times 6 \times 32) + (10.4 \times 14.7 \times 40) + (52 \times 32 \times 3) = 12,259.2 \text{cm}^2$ 總成本：USD 1,601

因此每平方公分成本： $1601 \div 12,259.2 = \text{USD } 0.1306$

DSSC の総面積： $(6 \times 6 \times 32) + (10.4 \times 14.7 \times 40) + (52 \times 32 \times 3) = 12,259.2 \text{cm}^2$ 総コスト： 1,601USD

1 平方センチメートルあたりのコスト : $1601 \div 12,259.2 = \text{USD } 0.1306$

Total Area of DSSCs: $(6 \times 6 \times 32) + (10.4 \times 14.7 \times 40) + (52 \times 32 \times 3) = 12,259.2 \text{cm}^2$ Total Cost: USD 1,601

Cost per gm²: 1601 ÷ 12 259.2 = **USD 0.1306**

(2015) 的研究, 每平 方公尺 FTO 導電玻璃的 製造能 約為 150~200 MJ/m², 取平均值為 175 MJ/m², 即每平方公分約為 0.0175 MJ。假設一片 DIY 製作的 DSSC 在陽光 充足下每平方公分每秒可 輸出約 0.0006W, 一年有 31,536,000 秒, 因此其 總輸出能量為 :

製造時に消費したエネルギーを回収できる、高いエネルギー効率を示しています。

ただし、これは 1cm^2 の EPBT (Energy Payback Time) で、これは 1cm² のセル単体における理論値で、実際の運用では封止技術によって、エネルギー消費量が増加する。また、実際の運用では封止技術によって、エネルギー消費量が増加する。

Energy Payback Time (EPBT) Beyond cost, we must also consider the Energy Payback Time (EPBT), which refers to the time it takes for a device or system to generate, through operation, the same amount of energy that was consumed during its production. Specifically, EPBT is calculated by dividing the total energy required for manufacturing, processing, and transportation by the system's average energy output.

距離が長くなるため、電子の by the system's average
 0.006 W 向け方向移動における電圧損失 annual energy output during
 31,536,000 s = 189,216 J が大きくなります。その結果、EPBT is a crucial
 = 0.189 MJ セルの面積を大きくしても出 metric for assessing the energy
 考慮季節變化與晝力が比例して増加するわけ efficiency and sustainability of

夜因素後、將其年輸出乘^{はなく、むしろ出力が低下す}る場合すらあります。 renewable technologies—the lower the number, the better. 以 25%，即得約 0.0475 FTO 表面に銀 fingang— According to a study by MJI。 電極を印刷するところで構成 Ind et al. (2015), manufacturing

電極を印刷することで候方 Liao et al. (2015), manufacturing の抵抗をある程度低減でき FTO conductive glass consumes 0.0175 MJ ÷ 0.0475 が、大面積セルにおける導 approximately 150–200 MJ per MJ ≈ 0.37 年 電制約を完全に解消すること square meter. Taking the average はできません。 (175 MJ/m²), that equals about

這意味著我們所製作的 DSSC，在不到半年的時間內便能回收其製造時所耗費的能量，顯示出極高的能源效率。 そのため、大型モジュールの出力効率を向上させる時間内に、小面積のセルを直列に接続して構成する DMSs のような構造的工夫が、0.0175 MJ per square centimeter. Assuming a DIY DSSC produces 0.006 W per cm² under strong sunlight, over the course of a year (31,536,000 seconds),

然而需注意，上述計算僅以 1 平方公分的 DSSC 為基準，並未納入 DSSC 的性能與構造上的安定性，因此，電池的總能量輸出會比 0.006 W \times 31,536,000 μ J = 189,216 J = 0.189 MJ 來得低，這就是所謂的季節性。

在實際應用中，FTO 玻璃具有固定的表面電阻 (sheet resistance)，單位為歐姆每平方 (Ω/sq)，因此當電極距離變長或裝置變大時，其表面電阻也會增加。為了抵消這種變化，我們在白天和夜間分別應用 25% 的校正因子： $0.189 \text{ MJ} \times 0.25 = 0.0475 \text{ MJ}$ 。因此，當 $\text{PBT} = 0.0175 \text{ MJ} \div 0.0475$ 時，我們可以得到正確的光子轉換率。

面積變大時，電子在橫向で光子吸收効率を効果的に $MJ \approx 0.37$ years

傳輸過程中的電壓損失會向上させることができ、さら recover its embodied energy in less 明顯上升。這使得大面积にニーズに応じて染料を柔軟に選択できます。高い安定性than half a year—demonstrating DSSC 的輸出功率不會與を持つ化学染料である N710[®] excellent energy efficiency. 面積成正比增加，甚至可から、多様な天然染料まで、 However, this estimate 能下降。 自由な色彩の調整が可能で、based on a single 1 cm²

即便透過在 FTO 表[†]だけでなく、光吸收スペ[†]cell and does not reflect real-world limitations such as packaging complexity.

經典的天然染料

DSSC 的獨特魅力源於其核心半導體層，即將光子轉化為電子的二氧化鉻奈米多孔層。通過簡單的染色技術，能有效提升光子吸收效率，同時根據需求靈活選用染料——從高穩定性的化學染料 N719，到多樣化的天然染料，不僅可以實現色彩光的波長是以下的通りです。光吸收波長是 520–550nm で、可視光的青綠の領域に対応し、視光の青綠の領域に対応し、overcome the conductivity limitations in large-area cells. • アントシアニン：主な光吸收波長は 430–450nm (青色光域) で、可視光の青綠の領域に対応し、overcome the conductivity limitations in large-area cells. • クロロフィル：吸収波長は 640–660nm (赤色光域) で、可視光の青綠の領域に対応し、overcome the conductivity limitations in large-area cells. Therefore, to enhance the output efficiency of large-scale modules, alternative design strategies are needed—such as integrating smaller individual cells in series or parallel, as seen in DSMs. 例は 450–550nm で、青綠光。This approach helps optimize

The Intersection of Natural Dyeing and Photovoltaic Technology

天然染料如化育系

・ベタレイン・吸収波長 Classic Natural Dye

・花青素：主要吸收の染料では太陽光の全スペクトラムを柔軟に調整可能で、波長が520-550 nm の範囲で、赤外線の利用が困難なため、可視光の青緑色域で、特に赤外線の利用が不十分な染料として、N719の赤紫色調が特徴です。

- 葉綠素：吸收峰分別在 430–450 nm (藍光區) 和 640–660 nm (紅光區)，反射綠光，因此能影響顯示。
- 分子構造的安定性不足：天然染料是光、酸素、溫度、光、酸、碱、溶劑等環境因素的影響下，容易發生變色、褪色、降解等現象。

3. 電子注入効率の低さ： Natural dyes such as
呈現綠色。

• 類胡蘿蔔素：吸收天然染料と二酸化チタンの界
範圍在 450~550 nm, 覆面結合力が弱く、電子注入效
蓋藍綠光譜，賦予黃色到 anthocyanins (purple-red),
chlorophyll (green), carotenoids
beta-carotene (yellow), and betacyanins
(pink) are abundantly found in

• 甜菜紅素：吸收波_{橙色的色調。} 豐かな色彩と再生可能性に_{（pink）are abundantly found in common plants like blueberries, blackberries, beets, red cabbage,} それでも、天然染料は_。

長集中在 480–530 nm 和 600–650 nm，使其呈現粉紅色或紅色。 由り、芸術創作や教育用途で and black rice. These dyes 比類ない価値を發揮している are environmentally friendly す。同時に、研究者たちは and readily available. Their 無染料の化学的安定性や耐熱性 heating bands are as follows:

1. 吸光範囲較窄：單一染料通常難以覆蓋太陽光谱，但通过将不同染料并置，可以实现更广泛的吸收范围。上させ、再生可能エネルギーの分野での応用可能性をさらに広げています。
Chlorophyll: Has absorption peaks at 430-450 nm (blue light)

光的全光譜，尤其是在紅外波段的利用上不足。性

2. 分子結構穩定性不足：天然染料易受到光、
氧氣和濕度的影響，導致染料退化，影響長期性的能。

3. 電子注入效率低：
天然染料與二氧化鈦的界
面結合力弱，電子注入過
程不如化學染料高效。

儘管如此，天然染料以其色彩豐富和可再生的特性，在藝術創作和教育應用中展現出無與倫比的價值。同時，研究者正致力於改進天然染料的化學穩定性和界面性能，例如通過結合化學修飾或共敏化技術來提升其轉換效率，使其在可再生能源領域的應用潛力更加廣泛。

儘管如此，科學家們仍致力於提升天然染料的性能，例如改良其分子結構以增強光穩定性、延展吸收光譜範圍，以及優化染料與二氧化鈦界面的電子傳輸效率。未來，天然染料有望在環境友好型能源領域中發揮更大的潛力，進一步拓展其應用範圍。

学者たちは天然染料の region) and 640–660 nm (red light region), reflecting green light and appearing green. し光安定性を強化する light and appearing green. スペクトルを拡張する、 • Carotenoids: Absorb in the は染料二酸化チタン range of 450–550 nm, covering 二酸化チタン効率を高めることで、天然染料の光安定性を強化する。

電子伝達効率を最適化 the blue-green spectrum, resulting
究を続けています。将来 in yellow to orange tones.
は、天然染料が環境に優 • Betacyanins: Absorb

エネルギー分野でさらなる wavelengths concentrated around 能力を発揮し、その応用 480–530 nm and 600–650 nm, を広げることが期待され producing pink or red hues.

ます。 However, compared to
色あせ chemical dyes like N719, natural
残念ながら、DSSC と dyes exhibit significantly lower
的な繊維染色技術はどち photovoltaic conversion efficiency
due to the following reasons:

色あせの問題に直面して 1. Narrow absorption range: A
すが、その原因と解決方 single natural dye often struggles
異なります。伝統的な織 to cover the full solar spectrum,
色では、媒染剤(モルダ especially with insufficient
)が染料と繊維を結合 utilization of the infrared band.

、安定した色複合体を 2. Poor molecular stability:
することで、色を固定 Natural dyes are easily degraded
耐久性と鮮やかさを向上 by light, oxygen, and humidity,
ます。一方、DSSC の製 affecting long-term performance.

3. Low electron injection efficiency: Natural dyes have weaker bonding with the titanium dioxide interface, resulting in less electron transfer.

DSSC では、二酸化チタン (TiO₂) が光子を吸収し、電子を放出する。このプロセスは、染料分子によって活性酸素種 (Reactive Oxygen Species, ROS) が生成する。これにより、染料分子は、半導体の電子を解放し、染料分子は、染料分子の色と可視光の吸収能をもつ。このプロセスは、DSSC の効率を低下させる。しかし、この染料分子は、活性酸素種 (ROS) の生成を抑制する。これにより、染料分子は、DSSC の効率を向上させる。

褪色

褪色の有機構造が徐々に破壊され as through chemical modifications ます。長時間の光照射と酸素 or cosensitization techniques, to と傳統纖維染色工藝都要 への曝露によって、染料の enhancement their conversion efficiency 面對褪色的問題，但造成 は徐々に薄れ、光感受性能も and broaden their potential in 低下します。この光化学的染料 renewable energy applications. 褪色的原因和解決方法不化は、天然染料が DSSC で安 Scientists continue to 同。在傳統纖維染色中，定性に直面する主な課題とな explore ways to improve the 媒染劑用來幫助染料與纖維。 performance of natural dyes, 維結合，形成穩定的顏色 光化学的劣化を抑えるた such as optimizing their molecular 複合物，從而固定顏色並 めに、酸化されたアントシアニン structure to enhance photostability, 增強其耐久性和鮮豔度。ニン染料を用いることが一般 extending the range of spectral 的かつ効果的な戦略の一つである。軽度の酸性環境 (pH4-5) absorption, and improving the 然而，在 DSSC 的製作 中，染料的作用是將光能 to the dye-titanium dioxide interface. 轉化為電子，這使得其陰離子的赤色陽離子構造 In the future, natural dyes are 解過程更加複雜。 安定し、その劣化を抑える expected to play a greater 在 DSSC 中，當 とができます。 role in environmentally friendly

共染作用と共感作動

定花青素の紅色陽離子結合において、クルクミン酸を electron transfer, also generates 構、從而減少其降解。含む染料はより低い退色率を reactive oxygen species (ROS),

共染與共敏作用

共染作用 (Copigmentation) 一般的に「赤方偏移 (レッドシフト)」を引き起こし、Over prolonged exposure to light 低エネルギーの光 (赤色光 and oxygen, the dye's color fades, and its photosensitivity diminishes. その結果、染料の光吸収特性と化学的安定性を改善することで、DSSC degradation, acidifying and effective strategy. Maintaining a slightly acidic environment helps stabilize the red cationic structure of anthocyanins, thereby reducing degradation.

Copigmentation and Cossensitization

の降解速率。Escobar 和 Jaramillo, (2015) 提到, 薑黃酸具有抗氧化性質, 能通過穩定其光學結構來提升染料的熱穩定性和抗 UV 穩定性。在高溫或紫外線輻射的條件下, 添加薑黃酸的染料顯示出更低的退色率。此外, 輔助分子能改變染料的吸光範圍, 通常會產生「紅移」效果, 使染料能吸收更多低能量光 (例如紅光或近紅外光)。共染作用雖然不直接提升電荷轉移效率, 但通過改善染料的吸

の吸収スペクトルを広げるこ

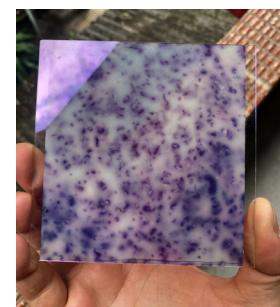
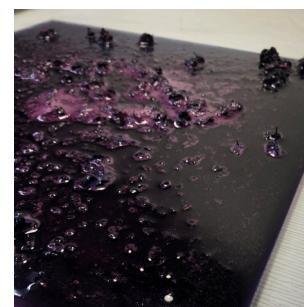
とができます。例えば、ある染料は紫外線を吸収し、他の染料は可視光を吸収するという組み合わせが可能です。

Strategies like copigmentation and cosensitization can further enhance the stability and photo voltaic conversion efficiency of dyes; copigmentation refers to the process of enhancing the light absorption capacity and stability of the dye by adding auxiliary molecules. Hardeli et al. (2019) noted that gallic acid in gallnuts binds with dye molecules to form a more stable structure, slowing down the degradation rate of the dye. Escobar and Jaramillo (2015) mentioned that curcumin acid possesses antioxidant properties, which improve the thermal stability of dyes by shifting the absorption spectrum to longer wavelengths and UV resistance of dyes by

光性能和化學穩定性，顯著提高了 DSSC 的光電轉換效率。領域を効果的にカバーすることができる。stabilizing their optical structure. Under high temperatures or UV radiation, dyes containing

印象的な染料

六敏化 (cosensitization) 則是同時使用多種染料對 DSSC 的光吸收率進行敏化的技術，類似於「雞尾酒調法」。不同染料分別吸收不同波長的光，例如一種染料吸收紫外線，而另一種染料專注於吸收可見光，從而擴展 DSSC 的吸收波段。這種技術能將更多太陽光譜的能量轉化為電子，提高整體光電轉換效率。舉例來說，六敏化 (cosensitization) 會導致率。此外，我們是全世界各地的染料在市場或自然的中，珍稀染料植物的選擇有時候會導致吸收率的降低。然而，某些染料，如葉綠素，能夠吸收更多的光能，從而提高整體光電轉換效率。



植物染色相對於化學染色涉及更多染色是化學染色與比及更複雜的染色是化學染色與比及, 模擬¹ compared to chemical dyeing, plant-based dyeing involves more techniques for creating wash-off patterns. The blueberry fruit pulp is stacked directly on the sintered titanium dioxide layer for 24 hours to produce organic patterns. Washing the pulp away with water afterward does not damage the titanium dioxide layer.

說，花青素和葉綠素可共存於DSSC中，花青素主要吸收藍光和綠光，而葉綠素則吸收紅光和部分藍光，兩者結合可有效覆蓋市場。太陽光譜的主要波段。止的影響力，花青素吸收藍光和綠光，葉綠素吸收紅光，兩者結合可有效吸收太陽光譜的主要波段。

令我印象深刻的染料

除了那些較「經典」的植物之外，我喜歡在世界各地的傳統市場或大賣場裡獵集奇特的染材，這些有些像是在賭運氣一般的打獵。除了尋找好的染材之外，有時也能打聽到當地專屬的染色技法或是與某個植物有關有趣習俗，植物似乎是一種很好的溝通。ラーーガラスの染料として使うことを発見しました。私は95%エタノールでウコンの染料を抽出し、精製処理を一括して、太陽光エネルギーを電子に変換して、効率を上げました。たとえば、アントシアニンとクロロフィルは共存できます。さらに、インドネシアの伝統市場で売られていたスオウ(蘇木)は、非常に深い赤を染め出し、クロロフィルは赤と青の光を吸収します。アントシアニンは、一般的な植物が青の光の部分を吸収するのに耐久性があります。これらの組合せは、太陽光の主要な光のスペクトルをカバーします。

媒介，而我們總是可以透過植物交流。　　後に私は、スオウには「ブラジリン (Brazilin)」と

Impressive Dyes!

久性遠高於一般植物^薬ため、太陽は平地よりも大き^く、巨大な火の玉のよう^{に見}く、^{to a local market in search of turmeric. He needed it to make}

不過，後來在機場，我發現了許多賣給觀光客的「花青素之王」黑枸杞禮盒，這讓我意識到，當地生長在高海拔的雪域高原的農產品應該有很大的潛力能夠作。為DSSC的染料。另一項當地特產紅景天（英文名有ある薯蕷（シユロウ）は、中

やフラボノイドを多く含んで30°C. Due to the high elevation, the sun appeared visually larger—like a giant fireball. I noticed dark blue plants growing around the village, and after extracting them, I was surprised by their effective dyeing ability. At the airport, I came across ECサイトで購入したものが台湾で有名な染料植物で“anthocyanins”), which made me realize the potential of high-altitude

為 Rhodiola，日本名為岩
南部的熱帶地域に多く自
生，而 Iwabenkei），
弁慶 イワベンケイ），
当地人相信其能夠幫助減
緩高山症。紅景天是一種
特殊的多肉植物，春夏時
開著黃色的小花。我當時
尚未學習到共染、共敏的
知識，直到回到台灣後
我才發現紅景天也是一種
抗氧化劑，且和五倍子
一樣富含酚酸類化合物
(phenolic acids) 和類黃
酮，因此也可能具有穩定
花青素的效果。由於台灣
不產這些高地作物，因此
我所使用的紅景天粉末和
黑枸杞，都是購自電商網
站。

crops – grown in low oxygen, dry air, and intense UV – as promising candidates for DSSC. Another local plant, Rhodiola (known as Iwabenkei), is widely believed to relieve altitude sickness. It's a succulent that blooms with small yellow flowers during spring and summer. Back then, I wasn't yet familiar with co-dyeing or co-sensitization, but after returning to Taiwan, I found that Rhodiola is a strong antioxidant and, like Galla chinensis, rich in phenolic acids and flavonoids – substances that may help stabilize anthocyanins. Since these highland crops are not native to Taiwan, I sourced both Rhodiola powder and black goji berries from

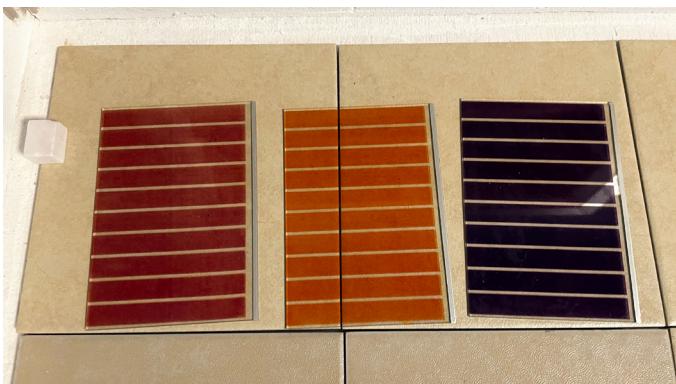
薯榔還被廣泛應用於閩粵地區的傳統織物染色上，其具體的力學機制是藉由薯榔的吸水性，吸收土壤中的鹽分，減少土壤的鹽分濃度，從而減少土壤對植物根部的傷害。這種機制在抗鹽侵蝕方面發揮了重要作用，也為傳統農業提供了有效的技術支持。

製，例如香雲紗（又稱歷史的・文化的価値を持つFujian and Guangdong, such 紗）和拷綢（又稱改良綢オでなく、新しい染料開発の as Xiangyunsha (also known as 黑膠綢），這些布料是インスピレーション源として"glossy gauze") and Kaochou, 過塗覆薯榔汁液製成的。も有望であり、その化学的性質 lacquered silk. These fabrics 買や光電特性についてのさ are coated with the dye, making 其特性在於耐用且防水。なる研究が期待されます。 them highly durable and water-resistant. I once dyed a 30x30 30x30 公分的 DSSC (末いる植物は、クロアチア cm DSSC using Galla Chinensis, 使用沙林膜進行封裝) 開催された夏のソーラーワー without sealing it with Surlyn 結果在一年後仍能輸出電 クションショップの際に、近隣の film. Even after one year, it could 壓，儘管性能衰減明顯，ミニユーティで見つけた深紫色 still output voltage—though with 的ホリホック (タチアオイ) significant degradation. Normally, 但未封裝的 DSSC 通常で。花びらをハサミで切 unsealed DSSCs would fail entirely 在這麼長的時間內早已失だけで刃先が紫色に染まつ in that time. This result showed 效，這展現了薯榔的獨特さもうほど、色素が豊富で the material's unique promise. 潛力。 た。当然ながら、DSSC への I also observed that DSSCs

此外，我注意到薯₃染色效果也非常に優れており₄，*Galla Chinensis* 他の植物に比べて耐久性が高₅，exhibited a slower voltage が₆、染色の DSSC 存在電圧₇が₈、変₉ることも確認されました。₁₀ response, possibly due to the が₁₁、化速度₁₂が₁₃慢₁₄の情況₁₅、這可₁₆リ₁₇ホックで染色した DSSC₁₈は₁₉、*mucilage* content affecting が₂₀能₂₁與其富含膠質₂₂有關₂₃。腔₂₄室₂₅内に置いておくだけで₂₆1₂₇electron transport or interfacial 質₂₈可能₂₉對電子傳輸或界面₃₀引₃₁ほど色₃₂が保たれます。₃₃ properties. The exact mechanism が₃₄性質₃₅產生₃₆影響₃₇、但具體的₃₈の₃₉その後、台湾のオンライン₄₀remains unclear, but these findings が₄₁作用₄₂機制₄₃尚₄₄不明確₄₅。這些₄₆ショッ₄₇ップ₄₈で乾燥₄₉ホリ₅₀ホック₅₁suggest that *Galla Chinensis* holds が₅₂の₅₃花₅₄を見₅₅つけ、₅₆台湾₅₇でも製作₅₈not only cultural and historical が₅₉觀察₆₀表明₆₁、薯₆₂榔₆₃不僅₆₄具有₆₅歷史₆₆與文化價值₆₇、也可能₆₈リ₆₉ホック₇₀は₇₁純水₇₂だけ₇₃で大量₇₄が₇₅可能₇₆になりました。乾燥₇₇value but also great potential が₇₈歷史₇₉與文化價值₈₀、₈₁リ₈₂ホック₈₃は₈₄純水₈₅だけ₈₆で₈₇大量₈₈for future dye development in が₈₉為₉₀新型染料₉₁の開發₉₂提供₉₃靈₉₄液₉₅を抽出₉₆でき、₉₇とても扱い₉₈photovoltaic applications. が₉₉感₁₀₀、值得₁₀₁進一步研究₁₀₂其₁₀₃他₁₀₄です。染液₁₀₅を作₁₀₆った₁₀₇後₁₀₈、Another plant that left a strong が₁₀₉學性質₁₁₀及₁₁₁光電應用₁₁₂中的₁₁₃は₁₁₄、2₁₁₅週間₁₁₆ほど花₁₁₇の香り₁₁₈が₁₁₉強₁₂₀impression on me is hollyhock が₁₂₁く₁₂₂残₁₂₃り₁₂₄、染色₁₂₅プロセス₁₂₆自₁₂₇体₁₂₈が₁₂₉Alcea rosea. During a solar が₁₃₀潛₁₃₁力₁₃₂。

另一个令我印象深刻的工作坊是有一年夏天在克罗地亚寻找紫色-红色的花。当时，染液是用紫蜀葵染成的。我偶然发现了一种深紫色的植物，它的花非常像蜀葵，但花瓣是深紫色的。我用剪刀剪下花瓣，染液立即染成了紫色。然后，我用染液染了DSSC染色效果，且

持久性比其他植物更高。是台湾でも有名な天然織維染料であり、広範な藍染コミットティが存在しています。近年では、藍染をDSSCsに応用する研究が進んでおり、その結果、DSSCsの性能が向上する可能性があります。



由不同染料染製的 DSSC，左邊是異なる色素で染色された DSSC。由 DSSCs dyed with different pigments: from left to right — N719, sappanwood (Caesalpinia sappan), and black goji berry (Grewia multiflora).

戊二醛來防止霉菌生長のロイコインディゴ (leuco drops of glutaraldehyde can be added to prevent mold, though this but this way the dye cannot be drunk) が生成され、それが酸化されてインディゴ (indigo) renders the dye inedible (preparing了。

藍染是台灣著名的
天然纖維染料，同時擁有
廣大的藍染工藝社群
近年來，藍染也逐漸被
探索用於DSSC，顯示出
相當的應用潛力。藍染的
染液主要提取自天然植
物，如靛藍草 (Indigofera
spp.) 和菘藍 (Isatis
tinctoria)，這些植物是
人類歷史上最早使用的
染料來源之一，在傳統工
藝和現代應用中均具有重
要地位。

の深い青色に変化します。
のプロセスは美しい発色と
吸収特性をえる一方で、製造
がやや複雑になります。

Indigo Dye is a famous natural
fiber dye in Taiwan and has a
large community dedicated to its
craft. In recent years, indigo has
been explored for use in DSSC,
showing considerable potential.
Indigo dye is primarily extracted
from natural plants like Indigofera
spp. and Isatis tinctoria. These
plants are among the earliest dye
sources in human history and hold
significant importance in traditional
crafts and modern applications.
Natural indigo faces

此外，靛藍的穩定性可能因光、氧氣和溫度的影響而降低，其與二氧化鈦表面的結合效率較低，導致電子注入效率受限。此外，靛藍分子在電子注入和傳輸效率上仍有待優化。因此，**低成本而具彈性的DSSC**（低成本而具彈性的DSSC）的開發，是為了應付上述挑戰。這類DSSC的電子注入效率較低，但其傳輸效率較高，因此總效率較傳統的玻璃基板DSSC為高。



位於日惹的傳統市場裡可以找到各
種乾燥過後的當地藥草。
ジョグジャカルタの伝統的な市場で
は、さまざまな乾燥させた地元の草
を見ることができます。



2022年我在印尼日惹的科技藝術學院
2022年、私はインドネシア・ジョグジャ
with Mr. Daulay, a community member,
教育社群 Lifepatch 的院子中和社群
Lifepatch の中庭で、地域の仲間であ
る Daulay 先生と一緒に薑黃
Daulay さんと一緒にウコンの汁液を抽出
汁液。我用薑黃染製 DSSC 他用
ました。私はそれを DSSC の染料として
Indonesia. I used the turmeric to dye
来治療他的咳嗽。
い、彼は咳を治すために利用していました DSSCs, while he used it to treat his cough.



我在克羅埃西亞韋萊比特山脈附近

找到的深紫色花朵，應是深紫色花
クロアチアのヴェレ比特山脈附近で
見つけた深紫色の花は、濃紫色品種
の蜀葵、也常被稱為「黑蜀葵」
ホリホックであり、「ブラック
ホリホック」とも呼ばれています。
The deep purple flower I found near the Velebit
mountains in Croatia appears to be a dark-
flowered variety of hollyhock (Alcea rosea),
commonly known as Black Hollyhock.



台灣的オンラインショップで購入
した蜀葵は、非常に濃厚で緋の
うな赤色の染液を持っています。
The Galla Chinensis (Shulang) purchased
from a Taiwanese e-commerce platform
produced a rich, silky red dye solution.

化，這限制了其在商業化使用し、ブルーベリーの果肉で染色していますが、それでは競争力。
Hosseinezhad 等人 (2022) 已經進行使用化研究。他們指出藍染在吸水後，對電極はゼラチン (indigo) と冷水で作られ、合成インジゴ (synthetic indigo) と冷水で作られ、合成インジゴ (synthetic indigo) が添加されています。ゼラチンは完全に分解可能な材料で、成形 (red light and near-infrared light) が簡単で柔軟性があり、アーティストの彫刻、ウェアラブルデバイス、環境に優しいデザイン等の DSSC の応用に適しています。DSSC 通常需要廣光譜の光吸收、一般に植物染料の吸收波段都在可見光譜範圍內，因此可

能適合與藍染進行共敏作用。

層が厚すぎることやヨウ素液の関与がないことが原因かも

しかし、このゼラチン基の DSSC の出力電流はほぼゼロであり、電解質層はゼラチンと冷水で作られ、合成インジゴと冷水で作られ、合成インジゴが添加されています。ゼラチンは完全に分解可能な材料で、成形 (red light and near-infrared light) が簡単で柔軟性があり、アーティストの彫刻、ウェアラブルデバイス、環境に優しいデザイン等の DSSC の応用に適しています。DSSC 通常需要廣光譜の光吸收、一般に植物染料の吸收波段都在可見光譜範圍內，因此可

能適合與藍染進行共敏作用。

しかし、このゼラチン基の DSSC の出力電流はほぼゼロであり、電解質層はゼラチンと冷水で作られ、合成インジゴと冷水で作られ、合成インジゴが添加されています。ゼラチンは完全に分解可能な材料で、成形 (red light and near-infrared light) が簡単で柔軟性があり、アーティストの彫刻、ウェアラブルデバイス、環境に優しいデザイン等の DSSC の応用に適しています。DSSC 通常需要廣光譜の光吸收、一般に植物染料の吸收波段都在可見光譜範圍內，因此可

能適合與藍染進行共敏作用。

しかし、このゼラチン基の DSSC の出力電流はほぼゼロであり、電解質層はゼラチンと冷水で作られ、合成インジゴと冷水で作られ、合成インジゴが添加されています。ゼラチンは完全に分解可能な材料で、成形 (red light and near-infrared light) が簡単で柔軟性があり、アーティストの彫刻、ウェアラブルデバイス、環境に優しいデザイン等の DSSC の応用に適しています。DSSC 通常需要廣光譜の光吸收、一般に植物染料の吸收波段都在可見光譜範圍內，因此可

能適合與藍染進行共敏作用。

しかし、このゼラチン基の DSSC の出力電流はほぼゼロであり、電解質層はゼラチンと冷水で作られ、合成インジゴと冷水で作られ、合成インジゴが添加されています。ゼラチンは完全に分解可能な材料で、成形 (red light and near-infrared light) が簡単で柔軟性があり、アーティストの彫刻、ウェアラブルデバイス、環境に優しいデザイン等の DSSC の応用に適しています。DSSC 通常需要廣光譜の光吸收、一般に植物染料の吸收波段都在可見光譜範圍內，因此可

能適合與藍染進行共敏作用。

A Low-Cost and Biodegradable Materials DSSC

これは一個以有機材料製作的廉價 DSSC 版本，造型類似鬆餅或漢堡，除了模其光電極依舊採用傳統的玻璃基底並以藍莓果肉進行染色以外，其他都相同。さらに、各ゼラチン電解質層是由吉利丁 (明膠) 和冷水製成，未添加碘電解液。而對電極則是以吉



9 個部份由吉利丁製作的 DSSC 由 9 つのゼラチン製 DSSC セルが連続して直列接続され、放電圧は約 2.56 V を示しました。9 gelatin-based DSSC units were connected in series using conductive sewing thread, resulting in an open-circuit voltage of approximately 2.56 V.

利丁、冷水和活性碳粉混^{Ge}ースの材料として使用でき^{ma}合製作。吉利丁是一種完^{ます。}

全可生物降解的材料，其外型易於模具塑形，且具有可撓性，因此這個設計能有被應用在藝術雕塑，穿戴裝置或是環保設計裡的潛力。⁷ このプロトタイプを屋外 flexible, so this design has potential for applications in art に3ヶ月置いておいたところ sculptures, wearable devices, その形状と電圧にほとんどの顕著な変化が見られず、or eco-friendly designs ⁷. ⁷ of this gelatin version of the DSSC 有能被應用在藝術雕塑裡的持続可能性を示しました。 However, the output current ⁷ は、このプロトタイプを屋外 almost zero, possibly due to イブを作るために冷水でゼラチンを

然而這個吉利丁版本的 DSSC 的輸出電流幾乎為零，應是電解質層過厚以及缺乏碘液的參與，且電壓變化速率較慢，有時甚至表現出類似電容延遲充放電的特性。儘管如此，另我意外的是，吉利丁電解質層雖厚達近 1 公分，卻沒有混入碘液，卻能正常工作。這種傳統的熱水作
工過程，使得電極層變厚，並導致電解質層變薄，這會影響電荷傳遞過程，從而降低電池性能。這種情況在某些情況下會發生，尤其是在溫度較高時，碘液會揮發，導致電解質層變薄，從而降低電池性能。這種情況在某些情況下會發生，尤其是在溫度較高時，碘液會揮發，導致電解質層變薄，從而降低電池性能。

分，但仍能明確的測量到其電壓變化。每個吉利丁 DSSC 還可用導電纖維和導電膠帶串聯來提升電壓，因此就算沒有電流，仍可作為智慧裝置或互動介面的材料。

AI で演奏されたジャズドラム 太陽光電圧出力 合成器の CV (コントローラー) 入力として使うことは、音楽表現の可能性な方法になっ

我曾將此原型放置於陽電池的光感應特性を利用し
outdoors for three months, and
室外三個月，其形狀與電
te, 音楽のリズムや波形を調
its shape and voltage showed
壓幾乎未發生明顯變化，整するための CV 制御信号と almost no significant change,
して浮動する電圧出力が生成 demonstrating a certain level of
顯示出一定的可持續性。されます。この簡単な原理は sustainability. It's worth noting
值得注意的是，我使用冷
ビューラーシンセサイザー that I used cold water to mix
水混合吉利丁粉末製作此システムの Eurorack の基礎でも the gelatin powder to make this
原型而不像一般那樣使用あり、自由に組み立てる「電 prototype. Compared to traditional
熱水，冷水製作的吉利丁子楽器のブロック」で、ユー gelatin blocks made with hot
塊具有大量如鬆餅般的孔 ザーはモジュールの接続を通 water, gelatin made with cold
隙，吸收較少水份，因此 じて独自の音を作り出します。water has numerous air pockets
不易因脫水乾燥而大幅縮 シかし、ここでは太陽エネルギー like those in waffles, absorbs
ヒーを使って電子音樂出力が less moisture, and is less likely

小體積或是硬化破裂，~~但~~御する別の方法を探って to shrink dramatically or harden ます。Starvation Synth Circuit and crack due to dehydration, の

一段由 AI 演奏的爵士鼓

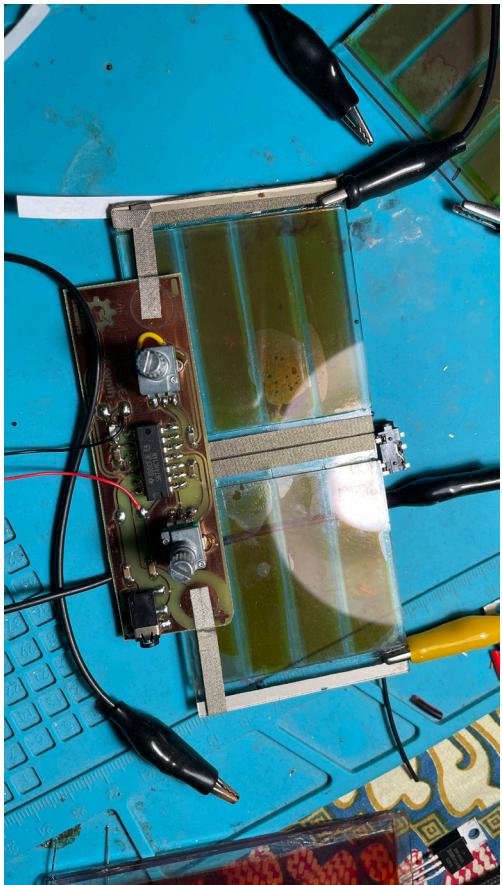
使用太陽能電壓輸出作為電子音樂合成器的CV（控制電壓）輸入，已經成為一種相當常見的音樂表現方法。利用太陽能板的光敏特性，產生浮動電壓輸出，作為電子合成器的CV控制訊號，用於調節音樂的節奏或波形。這一簡單原理正是模組化合成器系統Eurorack的

Using solar voltage output as the CV (Control Voltage) input for an electronic music synthesizer has become a fairly common method of musical expression. By utilizing the photo-sensitive properties of solar panels, a fluctuating voltage output is generated to serve as a CV control signal for adjusting the rhythm or waveform of the music. This simple principle is the foundation of modular synthesizer systems like Eurorack—a free-form "electronic

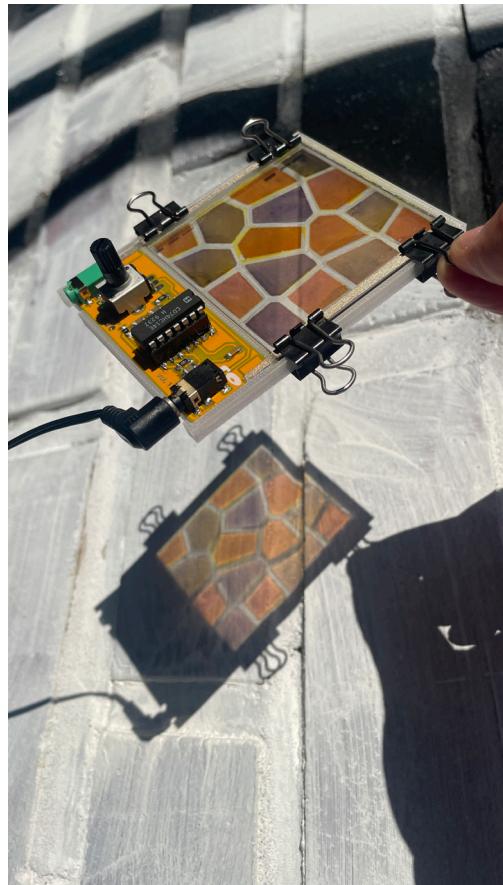
基礎——一種自由組裝的「電子樂器積木」，用 AI 工具來組み込んだとき、users can create unique sounds 通过模块连接。戶可以透過模組的連接創のような新しい創造的な可 through module connections. 造出獨特的聲音。但是在能性が生まれるのでしょう However, here, we are exploring 這裡，我們可以使用另一個？例えは、74HC14 で生成 a different approach to use solar 種方法來使用太陽能來控されたローファイリズムを AI energy to control our electronic 制我們的電子音樂輸出。Variational Autoencoder) ③ Synth Circuit ③ is a voltage Starvation Synth Circuit に入力することで、元々有機 starvation technique applied to 是一種電壓飢餓 (Voltage Starvation) ③ 技術應用 synthesizer circuits. This technique 透過限制或降低電子元件 度の音響効果に変換し、ノイ works by limiting or reducing の電路。這種技術主要 で高忠実度の音色をコント the supply voltage to electronic 透過限制或降低電子元件 ロールすることができます。components, like oscillators and RAVE 是、フランスの音響芸 amplifiers, to produce unstable, 術センター IRCAM の Antoine distorted, or unique tonal effects. Caillon と研究チームによっ This technique is often used て 2021 年に発表された技術 in experimental synthesizers, で、音響のために設計された noise machines, or handcrafted 生成モデルです。音響を低次 instruments like Lunetta Synths 元のデータ表現に圧縮し、そ and Circuit Bending. Therefore, の後デコーダーを使って高品 the Starvation Synth Circuit

A Drum Kit Played with AI

Using solar voltage output as the CV (Control Voltage) input for electronic music synthesizers has become a fairly common method of musical expression. By utilizing the photo-sensitive properties of solar panels, a fluctuating voltage output is generated to serve as a CV control signal for adjusting the rhythm or waveform of the music. This simple principle is the foundation of modular synthesizer systems like *Modular Synthesizer*—a free-form “electronic



Marc Dusselle 設計的 DSSC [Marc Dusselle](#) が設計した DSSC スターベンション・シンセのロドタイプ: A DSSC starvation synth prototype designed by Marc Dusselle: two 6 x 6 cm DSSC cells被 EMI 密封テープ串聯手で直接接続され、手作りのスター構造の DSSC の原型: two 6 x 6 cm DSSC cells are connected in series using EMI conductive tape on a hand-crafted starvation PCB 上。



Machines) 或手工樂器, 如 Lunetta Synths、Circuit Bending 等。因此 Starvation Synth Circuit 特別適合我們手工製作的擁有低輸出的 DSSC。 質的な音声に復元します。RAVE especially suitable for our の特徴は、低遅延とリアルタ handmad DSSC with low output. イム処理能力にあり、音楽制作、音響設計、音色スタイルの変換に適しています。つまり、RAVEはリアルタイムで「スタイル変換」を実現します。 何が新しい創造的可能 性が生まれるか? それは、AIツールを導入するときです。Starvation Synth Circuit? つまり、RAVEはリアルタイムで「スタイル変換」を実現します。 For example, we can input the lo-fi rhythm generated by the

當我們在 Starvation Synth Circuit 上 加入 AI 工具時，會帶來什麼樣的新創意？舉例來說，我們可以將 74HC14 產生的 lofi 節奏輸入到 AI 工具 RAVE (Real-time Audio Variational autoEncoder) ⑨ 中，藉此我們可以將原本有機、不穩定的噪音轉換成高真的聲音效果，透過噪聲 (オシレーション) 來控制高保真的音色，像是爵士鼓。RAVE 是由法國聲音藝術中心 IRCAM 的 Antoine Cailllon 和研究團隊於 2021 年推出的。它是一種專為音頻設計的生成模型，能將音頻壓縮到低維度的數據表示，再通過解碼器還原為高品質音頻。RAVE 的特色在於低延遲和即時處理能力，適合音樂創作、音效設計和聲音風格轉換。

實現ることができ、例えば 74HC14 into the AI tool RAVE に入された音声を異なる音色 (Real-time Audio Variational やスタイルに変換することができる Autoencoder) ⑨，which allows できます。これは 74HC14 の us to transform the organic, unstable noise into high-fidelity sound effects, controlling the high-fidelity tone through the noise, like a drum kit. RAVE, launched in 2021 by Antoine Cailllon and his research team from IRCAM, the French sound arts center, is a generative model specifically designed for audio. It compresses audio into a low-dimensional data representation and then decodes it back into high-quality audio. RAVE stands out for its low latency and real-time processing capabilities, making it ideal for music creation, sound design, and sound style transformation.

In other words, RAVE enables real-time "style transformation," such as converting the input sound into different tones or styles. This is similar to using the output of the 74HC14 as a "prompt," and then having the AI model generate high-fidelity audio, like the sound of a drum kit. In terms of performance

現在、RAVE モデルを実行するには、個人用コンピュータや Jetson Nano のような高価な機器と、モデルを訓練

也就是说 RAVE 能夠實現即時的「風格轉換」，例如將輸入的聲音轉換成所需要的大量電力。但是，我們可以「玩」鼓組套件，並使用 DSSC_StarvationSynth，where low-frequency oscillations trigger

From Laser Dye Projects to Colored Transparent Solar Glass

Another innovation related to OSCCs is the technique of developing patterns on the titanium dioxide layer, inspired by previous "Laser Dye Project." This project was an innovative combination of technology and fashion, utilizing pre-coated traditional

用於任何類比訊號，例如純粹以藝術或設計開發應用於衣服上。為了達到此目的，我們使用了150目網版印刷技術，並結合雷射顯影技術。這項技術能夠在衣服上直接印出高品質的圖案，而不需要任何底片。

另一項關於DSSC的創新，是在二氧化鈦上進行3D印刷。我們使用了150目網版印刷技術，並結合雷射顯影技術。這項技術能夠在衣服上直接印出高品質的圖案，而不需要任何底片。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。

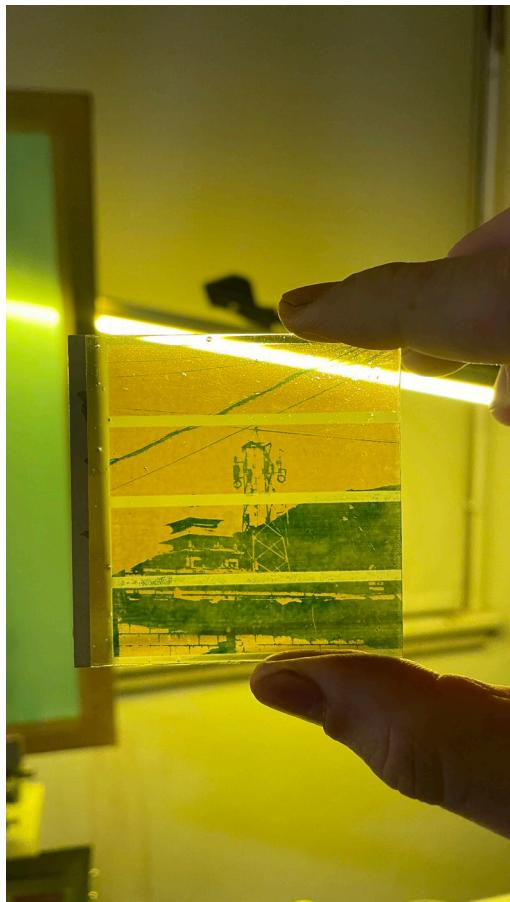
測試顯示，燒結好的

18NR-T二氧化鈦奈米粒子與DSSC的結合力，能夠在DSSC上形成一個連續的導電層。這意味著我們可以在衣服上直接印出高品質的圖案，而不需要任何底片。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。

在DSSC應用中，我們發現了許多有趣的現象。例如，當我們在衣服上進行網版印刷時，會發現不同顏色的染料在不同位置吸收光能的效率不同。這意味著我們可以在衣服上創建出具有不同亮度的圖案。



透過 405nm 雷射振鏡在 DSSC 的 405nm のレーザー光ルミネッセンスによって、DSSC の酸化チタン層上に新規な cyano-type 電極が生成され、³新しいサイアナイト型電極が生成される。新規なサイアナイト型電極は、マスクレス露出によって生成される。



透過負片和 365nm LED 在二氧化鋅
基底上製造的凡戴克棕圖案。
Van Dyke brown pattern produced
using a negative film and a 365 nm LED light source.

的面積來定義 DSSC 各部分的發電效率；也就是說，氟版染料分子佔據的區域越多，N719 染料分子的比例就越少，進而降低該區域的光電轉換效率。也許我們可以利用這種好比紋身的方法針對手工製作的 DSSC 的輸出進行特徵化，使每一片太陽能板與其輸出的電力之間形成了獨特且穩定的關聯。

ソクチェーン技術と組み合わせることで、エネルギーの出所・流通経路・消費量を正確に記録することができ、「Efficiency in those regions.」という概念が実現可能になります。使うのが仮想通貨のように、各 DSSC が持つ I-V 曲線の固有性を、/ technology enables us to precisely trace which solar panel and its electricity output. この「データ署名」実験を実現するために、各 DSSC は、cyan dye molecules, the less room there is for N719 dye molecules, the less efficiency in those regions. This inspired the idea of using this tattoo-like method to characterize the energy output of each handcrafted DSSC—forming a unique and stable correlation between each solar panel and its electricity output. This kind of characterization technology enables us to precisely trace which solar panel and its electricity output.

為了實現這個數據
簽名實驗，我們也許可以
將 I-V 曲線的獨特性視做
每塊太陽能板的哈希值
(Hash) 或數據指紋。該
哈希值被用作數據簽名，
並存儲在區塊鏈上的智能
合約中，用於未來的數據
驗證。每次上報電力數據
時，系統會自動將新生成
的數據簽名與智能合約中
的對應簽名進行比對，以
驗證數據的真實性。

の初始簽名進行比對這樣し空間に変換することで、各 This design ensures both tamper
的設計既能防篡改，也能 DSSC の固有性をより正確に resistance and data accuracy:
表現できます。 - If the signatures match.

以前述べた「DSSC が」*the data is verified and the power*

- 如果簽名一致，則 **ヤズドラムを演奏する** 記入欄會被賦予該 DSSC。 - If they don't match, **ナム** 會被標記為異常並被拒絕。
確認數據有效，並將電力 **ム** 與 **ム** 對應的直譯名 **メニカ** 記入欄會被賦予該 DSSC。 **メニカ** 會被標記為異常並被拒絕。
輸出 **ア** 並標記為異常並被拒絕。

- 如果簽名不一致，らぐ電力データはまるで音の However, since power output
則標記為異常並拒絕處 周波数のようで、各太陽電池 is influenced by external factors
理。 はブロックチェーン上のス like sunlight and temperature,
 トコントラクトに對して正 simple threshold based

然而，由於電力輸出受到光照、溫度等外部條件影響而存在波動，單純以固定閾值進行驗證的方法並不適用。因此，我們可以使用RAVE模型來提取特徵並降低波動數據的維度。

threshold) 進行裁剪的機制並不適用。為了解決這一問題，我們可以利用 RAVE 模型對這些波動的電力數據進行特徵提取與降維，將不穩定的數據轉化為穩定的潛在向量空間特徵，以精準表徵每塊太陽能板的獨特性。

transforming unstable signals into stable representations in latent vector space. This allows us to capture the intrinsic uniqueness of each DSSC more precisely.

Interestingly, the previously mentioned “solar panel playing jazz drums” system offers an intuitive metaphor for these complex relationships.

前面講述過的關於太陽能板「演奏爵士鼓」的系統剛好可以為這些複雜的機制提供一個較為簡單直觀的比喻——浮動的電力數據就好似聲頻一樣，每一片太陽能板必須正確向區塊鏈智慧合約演奏正確的節奏，只有當節奏被核准後，該太陽能板才能上線參與能源交易。

mechanisms—fluctuating power data is like sound frequency, and each solar panel must perform the correct rhythm to the blockchain's smart contract. Only when the rhythm is recognized and validated can the panel participate in energy transactions.

感謝

感謝這些開放的頭
腦參與我的每一個荒謬想法。

謝辭

私のすべてのばかげたア
イデアに付き合ってくれた、
オープンな心を持つ仲間たち
に感謝します。

侯 惠 宇 Huei Yu Hou, Daiki Kanaoka, Janne Halme, Jimi Mased, 吳 國 強 KC Wu Ralph, Marc Duseiller, Naoki Yoshioka, Raheleh Ebrahimi, Sonoka Sagara, Tsangsaar Kunga, Tuomo Tammenpää, Wiriya Rattanasuwan.

註腳

❶ <https://shihweichieh.com/laser-dye-project>

❷ <https://archive.org/details/the-mind-of-a-greenhouse>

❸ Martineau, David. n.d. "Dye Solar Cells for Real."

❹ <https://hackaday.io/project/194944-diy-large-dye-sensitized-solar-cell>

❺ https://en.wikipedia.org/wiki/Doctor_blae

❻ https://github.com/dusjagr/lVcurve_tester

❼ https://www.instagram.com/p/C1pcW2nHOK6/?img_index=1

❽ https://wiki.sgmk-ssam.ch/wiki/Starvation_Synth_by_Ralf_Schreiber

❾ <https://github.com/acids-ircam/RAVE>

❿ https://www.hackteria.org/wiki/Abao_KUBU_residency

注記

❶ <https://shihweichieh.com/laser-dye-project>

❷ <https://archive.org/details/the-mind-of-a-greenhouse>

❸ Martineau, David. n.d. "Dye Solar Cells for Real."

❹ <https://hackaday.io/project/194944-diy-large-dye-sensitized-solar-cell>

❺ https://en.wikipedia.org/wiki/Doctor_blae

❻ https://github.com/dusjagr/lVcurve_tester

❼ https://www.instagram.com/p/C1pcW2nHOK6/?img_index=1

❽ https://wiki.sgmk-ssam.ch/wiki/Starvation_Synth_by_Ralf_Schreiber

❾ <https://github.com/acids-ircam/RAVE>

❿ https://www.hackteria.org/wiki/Abao_KUBU_residency

Footnotes

❶ <https://shihweichieh.com/laser-dye-project>

❷ <https://archive.org/details/the-mind-of-a-greenhouse>

❸ Martineau, David. n.d. "Dye Solar Cells for Real."

❹ <https://hackaday.io/project/194944-diy-large-dye-sensitized-solar-cell>

❺ https://en.wikipedia.org/wiki/Doctor_blae

❻ https://github.com/dusjagr/lVcurve_tester

❼ https://www.instagram.com/p/C1pcW2nHOK6/?img_index=1

❽ https://wiki.sgmk-ssam.ch/wiki/Starvation_Synth_by_Ralf_Schreiber

❾ <https://github.com/acids-ircam/RAVE>

❿ https://www.hackteria.org/wiki/Abao_KUBU_residency

References

參考文獻與注腳 參考文献と脚注 and footnotes

BARICELLO, JESSICA, LUIGI VESCE, PAOLO MARIANI, ENRICO LEONARDI, ROBERTO BRAGLIA, ALDO DI CARLO, ANTONELLA CANINI, AND ANDREA REALE. 2021. "STABLE SEMI-TRANSPARENT DYE-SENSITIZED SOLAR MODULES AND PANELS FOR GREENHOUSE APPLICATION." *ENERGIES* 14 (OCTOBER):6393. <https://doi.org/10.3390/en14196393>.

BOUZIDI, A., I.S. YAHIA, AND M.S.A. EL-SADEK. 2017. "NOVEL AND HIGHLY STABLE INDIGO (C.I. Vat Blue I) ORGANIC SEMICONDUCTOR DYE: CRYSTAL STRUCTURE, OPTICALLY DIFFUSED REFLECTANCE AND THE ELECTRICAL CONDUCTIVITY/DIELECTRIC BEHAVIORS." *DYES AND PIGMENTS* 146 (NOVEMBER):66-72. <https://doi.org/10.1016/j.dyepig.2017.06.046>.

CALOGERO, GIUSEPPE, ANTONINO BARTOLOTTA, GAETANO DI MARCO, ALDO DI CARLO, AND FRANCESCO BONACCORSO. 2015. "VEGETABLE-BASED DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS." *CHEMICAL SOCIETY REVIEWS* 44 (APRIL). <https://doi.org/10.1039/c4cs00309h>.

ESCOBAR, MARIO ALEJANDRO MEJIA, AND FRANKLIN JARAMILLO. 2015. "THERMALLY AND UV STABLE NATURAL DYES WITH POTENTIAL USE IN EFFICIENT PHOTOOXIDOREDUCTIVE DEVICES." *JOURNAL OF RENEWABLE MATERIALS* 3 (4): 302-17. <https://doi.org/10.7569/JRM.2014.634143>.

FAKHARUDDIN, AZHAR, RAJAN JOSE, THOMAS BROWN, FRANCISCO FABREGAT-SANTIAGO, AND JUAN BISQUERT. 2014. "A PERSPECTIVE ON THE PRODUCTION OF DYE-SENSITIZED SOLAR MODULES." *ENERGY & ENVIRONMENTAL SCIENCE* 7 (SEPTEMBER). <https://doi.org/10.1039/c4ee01724b>.

HOSSEINNEZHAD, MOZHGAN, SOHRAB NASIRI, MOHSEN FATHI, MEHDI GHAFARI, AND KAMALDIN GHARANJIG. 2022. "INTRODUCTION OF NEW CONFIGURATION OF DYES CONTAIN INDIGO GROUP FOR DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS: DFT AND PHOTOVOLTAIC STUDY." *OPTICAL MATERIALS* 124 (FEBRUARY):111999. <https://doi.org/10.1016/j.optmat.2022.111999>.

JUHÁSZ JUNGER, IRÉN, SUPHAWIT UDORNURUNGKHAJORNCHAI, NILS GRIMMELSMANN, TOMASZ BLACHOWICZ, AND ANDREA EHREHMANN. 2019. "EFFECT OF CAFFEEINE COPIGMENTATION OF ANTHOCYANIN DYES ON DSSC EFFICIENCY." *MATERIALS* (BASEL, SWITZERLAND) 12 (17): 2692. <https://doi.org/10.3390/ma12172692>.

LEONARDI, E. 2010. "SEALING MATERIALS: ENCAPSULATION PROCEDURES AND AGEING TESTS FOR DYE SENSITIZED SOLAR CELLS," JULY. https://doi.org/10.58015/leonardi-enrico_phd2010-07-02.

LIND, A. HELENA N., ROBERT R. MATHER, AND JOHN I.B. WILSON. 2015. "INPUT ENERGY ANALYSIS OF FLEXIBLE SOLAR CELLS ON TEXTILE." *IET RENEWABLE POWER GENERATION* 9 (5): 514-19. <https://doi.org/10.1049/iet-rpg.2014.0197>.

MARTINEAU, DAVID. N.D. "DYE SOLAR CELLS FOR REAL."

MUÑOZ-GARCIA, ANA BELÉN, IACOPO BENESEPERI, GERRIT BOSCHLOO, JAVIER J. CONCEPCION, JARED H. DELCAMP, ELIZABETH A. GIBSON, GERALD J. MEYER, ET AL. 2021. "DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS STRIKE BACK." *CHEMICAL SOCIETY REVIEWS* 50 (22): 12450-550. <https://doi.org/10.1039/D0CS01336F>.

ZHOU, HUIZHI, LIQIANG WU, YURONG GAO, AND TINGLI MA. 2011. "DYE-SENSITIZED SOLAR CELLS USING 20 NATURAL DYES AS SENSITIZERS." *JOURNAL OF PHOTOCHEMISTRY AND PHOTOBIOLOGY A: CHEMISTRY* 219 (2-3): 188-94. <https://doi.org/10.1016/j.jphotochem.2011.02.008>.

PRAMANANDA, VIGRY, TEUKU FITRIYAH, AND MISRAN ERNI. 2021. ANTHOCYANIN AS NATURAL DYE IN DSSC FABRICATION: A REVIEW. *IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING*. VOL. 1122. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/1122/1/012104>.



FabCafe
what do you fab?



關於作者

施惟捷是一位藝術家，目前是陽明交通大學應用藝術學系博士生。他的作品主要探索工藝和當代科技的連結方法，並結合傳統織品工藝與國際電子織品社群。2020-2021 他為臺灣工藝研究發展中心組織國際線上駐地。2020 年從事「Having Friends in The Future」的調查計劃「Non-Governmental Matters」訪問並研究獨立跨學科藝術營及集會。探索此類國際與跨領域交流在中心與學術正式系統外的正向影響。

施惟捷 (Shih Wei-Chieh) is currently a Ph.D. student in the Department of Applied Arts at National Yang Ming Chiao Tung University. His work primarily explores the relationship between craft and contemporary technology, often realized through DIY methods. In 2017, he initiated the project 'Tribe Against Machine', which connects traditional textile crafts with the global e-textile community. From 2020 to 2021, he organized the international online residency 'Having Friends in The Future' for the National Taiwan Craft Research and Development Institute. His research project 'Non-Governmental Matters' involves visiting and studying independent interdisciplinary art camps and gatherings, investigating the positive potential of international and cross-disciplinary exchange outside centralized and institutional frameworks.

作者について

施惟捷 (Shih Wei-Chieh) is currently a Ph.D. student in the Department of Applied Arts at National Yang Ming Chiao Tung University. His work primarily explores the relationship between craft and contemporary technology, often realized through DIY methods. In 2017, he initiated the project 'Tribe Against Machine', which connects traditional textile crafts with the global e-textile community. From 2020 to 2021, he organized the international online residency 'Having Friends in The Future' for the National Taiwan Craft Research and Development Institute. His research project 'Non-Governmental Matters' involves visiting and studying independent interdisciplinary art camps and gatherings, investigating the positive potential of international and cross-disciplinary exchange outside centralized and institutional frameworks.

About the Artist

Shih Wei-Chieh is currently a Ph.D. student in the Department of Applied Arts at National Yang Ming Chiao Tung University. His work primarily explores the relationship between craft and contemporary technology, often realized through DIY methods. In 2017, he initiated the project 'Tribe Against Machine', which connects traditional textile crafts with the global e-textile community. From 2020 to 2021, he organized the international online residency 'Having Friends in The Future' for the National Taiwan Craft Research and Development Institute. His research project 'Non-Governmental Matters' involves visiting and studying independent interdisciplinary art camps and gatherings, investigating the positive potential of international and cross-disciplinary exchange outside centralized and institutional frameworks.

